MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Aparate electrice și automatizări

MANUAL PENTRU CLASA A XII-a, LICEE
CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ
ȘI MATEMATICĂ – ELECTROTEHNICĂ
ȘI ȘCOLI PROFESIONALE

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI, 1986

Manualul a fost reeditat după ediția 1980, elaborată conform programei școlare aprobate de Ministerul Educației și Învățămîntului cu nr. 3448/1979.

Referenți: dr. ing. *Valerius Stanciu*
ing. prof. *Corina Soare*

Redactor: ing. *Maria Beluri*
Tehnoredactor: *Otto Paraschiv Necșoiu*
Coperta: *Dumitru Negrescu*

Partea întîi

APARATE ELECTRICE

Capitolul 1

INTRODUCERE ÎN FUNCȚIONAREA ȘI CONSTRUCȚIA APARATELOR ELECTRICE

A. ROLUL ȘI IMPORTANȚA APARATELOR ELECTRICE

În cadrul acestui manual sînt tratate aparatele electrice de comutație (conectare și deconectare) și aparatele electrice de protecție, utilizate în domeniul producerii, transportului și distribuției energiei electrice.

Ele se găsesc în numeroase variante constructive și funcționale în toate instalațiile electrice îndeplinind, în circuitele dintre sursele de energie și receptoare, funcții de deosebită importanță:

— închiderea, deschiderea sau comutarea circuitelor electrice;

— supravegherea și protecția instalațiilor și receptoarelor (împotriva suprasarcinilor, scurtcircuitelor, supratensiunilor etc.).

În țara noastră, asimilarea în fabricația de serie a aparatelor electrice a început în primii ani ai construcției socialiste.

Sub conducerea *Partidului Comunist Român*, o dată cu dezvoltarea întregii industrii, s-a dezvoltat într-un ritm rapid și industria electrotehnică și, în cadrul ei, producția de aparataj electric. S-au înființat numeroase întreprinderi care s-au specializat și dezvoltat pe parcurs și care, datorită intensei activități desfășurate pentru asimilarea de noi produse și pentru diversificarea producției, pot acoperi astăzi practic tot necesarul economiei naționale de aparataj electric de joasă și înaltă tensiune.

Principalele întreprinderi producătoare sînt: *Electroputere — Craiova*, pentru aparataj electric de înaltă tensiune; *Electroaparataj —*

București, pentru întreruptoare automate, contactoare, contactoare cu relee, echipamente de tracțiune; *Întreprinderea de aparataj electric de instalații — Titu; Întreprinderea de contactoare — Buzău; Electrocontact — Botoșani*, pentru aparataj antigrizutos și antiexploziv, comutatoare cu came, limitatoare; *Electromagnetica — București*, pentru relee; *Întreprinderea de mașini electrice — București*, pentru aparataj de pornire etc.

B. MĂRIMILE CARACTERISTICE ALE APARATELOR ELECTRICE

Principalele mărimi caracteristice, reprezentînd și criterii de clasificare sînt: numărul de poli, felul curentului, tensiunea și curentul nominal etc.

Se vor prezenta în continuare cîteva *caracteristici mai importante*.

• **Tensiuni nominale.** Distingem *tensiunea nominală de izolare, tensiunea nominală de utilizare* legată de diferiți curenți nominali de utilizare și *tensiunea nominală de comandă* pentru care este dimensionat dispozitivul de comandă al aparatului. Cele mai mari tensiuni de utilizare și de comandă nu pot depăși valoarea tensiunii nominale de utilizare.

De exemplu, un contactor poate avea tensiunea nominală de izolare de 660 V, tensiunea nominală de utilizare de 550 V la 40 A și 380 V la 63 A și tensiunea nominală de comandă de 220 V.

Pentru circuitele polifazate, tensiunea de utilizare și tensiunea de izolare se exprimă prin tensiunea între faze.

Tensiunile nominale de izolare standardizate sînt:
— pentru aparatele de joasă tensiune:
60, 250, 380, 500, 660, 800, 1 000 V c.a.
60, 250, 440, 600, 800, 1 200 V c.c.
— pentru aparatele de înaltă tensiune:
6, *10*, 20, *110*, 220, *420*, 765 kV

Tensiunile nominale de utilizare standardizate sînt:
— 34, 36, **48** (42), 60, **110** (127), **220** sau **250**, **380**, 440, **500**, 660, 750, 1 000 V c.a.
— **24**, **48**, **60**, **110** (**120**), (127) **220** sau **250**, **440**, 600, 800, 1 200 V c.c.

Valorile date cu cifre îngroșate sînt tensiunile de comandă standardizate.

• **Curenți nominali.** Se disting *curentul nominal termic* pe care aparatul îl poate suporta timp de 8 h fără ca încălzirea diferitelor sale părți să depășească limitele admisibile și *curentul nominal de utilizare*

stabilit de constructor în funcție de tensiunea nominală de utilizare și de alți parametri.

Curenții nominali termici standardizați pentru aparatele de joasă tensiune sînt: 2; 2,5; 3,15; 4 (5); 6,3; (8); 10; (12,5); 16; 20; 25; 31,5; 40; (50); 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400 (500); 630; 800; *1 000*; *1 250*; *1 600*; *2 000*; *2 500*; *3 150*; *4 000* A.

• **Capacitatea de comutație.** La aparatele de joasă tensiune, capacitatea de comutație se exprimă prin *curentul de rupere*, cel mai mare curent pe care aparatul este capabil să îl întrerupă sub o tensiune dată, și prin *curentul de închidere*, cel mai mare curent pe care aparatul îl poate stabili sub o tensiune dată. Se dau în valori efective.

La aparatele de înaltă tensiune se folosesc noțiunile de *putere de rupere*

$$P_r = \sqrt{3}U_n I_r \text{[MVA]} \tag{1.1}$$

și *putere de închidere:*

$$P_i = \sqrt{3}U_n I_i \text{ [MVA]}, \tag{1.2}$$

unde:

U_n este tensiunea nominală, în kV;
I_r — curentul de rupere, în kA;
I_i — curentul de închidere, în kA.

• **Servicii nominale.** *Serviciul continuu (de durată)* este cel în care contactele principale ale aparatului sînt străbătute de curent fără întrerupere, un interval de timp mai mare de 8 h.

Serviciul intermitent este caracterizat printr-o succesiune atît de frecventă de conectări și deconectări încît în timpul în care aparatul este închis, el nu atinge temperatura maximă, iar în timpul în care este întrerupt, nu atinge temperatura ambiantă.

Serviciul de scurtă durată este serviciul în care contactele principale ale aparatului său străbătute de curent un timp insuficient de lung pentru a permite *atingerea temperaturii maxime, dar timpul de întrerupere* este suficient de lung pentru a permite atingerea temperaturii ambiante.

• **Frecvența de conectare** este dată de relația

$$f_c = \frac{3\,600}{t_c}, \tag{1.3}$$

unde t_c este durata unui ciclu.

• **Durata relativă de conectare** se calculează cu formula

$$D_A = \frac{t_a}{t_c} = 100\%, \qquad (1.4)$$

unde durata unui ciclu este $t_c = t_a + t_p$ (unde t_a este timpul de lucru şi t_p — timpul de întrerupere).

Verificarea cunoştinţelor

1.1. Ce funcţii îndeplinesc aparatele electrice în instalaţii?
1.2. Ce tipuri de aparate de conectare cunoaşteţi?
1.3. Ce întreprinderi din Bucureşti fabrică aparate electrice?
1.4. Ce se înţelege prin tensiune de comandă?
1.5. La ce curent trebuie încercat un întreruptor automat de 100 kV şi 2 500 MVA?
1.6. Care este frecvenţa de conectare a unui aparat la care durata relativă de conectare este de 60% şi timpul de întrerupere — de 1,2 s?

Capitolul 2
SOLICITĂRILE LA CARE SÎNT SUPUSE APARATELE ELECTRICE

În funcţionarea aparatelor, atît în condiţii normale de serviciu cît şi în caz de avarii, fiecare dintre elementele componente este supus unor anumite solicitări, la care trebuie să reziste în bune condiţii, timp de 10—20 ani, fără a fi necesare alte invervenţii ale personalului de exploatare decît cele prevăzute a se face cu ocazia reviziilor periodice.

Aşa cum se ştie de la „Tehnologia lucrărilor electrotehnice" — cl. a XI-a, aceste solicitări sînt:

— *solicitarea electrică* a izolaţiilor, provocată de prezenţa tensiunii pe căile de curent;

— *solicitarea termică* a căilor de curent şi a pieselor invecinate acestora ca urmare a trecerii curentului electric;

— *solicitarea mecanică* a căilor de curent şi a pieselor de susţinere a acestora, sub acţiunea forţelor electrodinamice provocate de curenţii de scurtcircuit;

— *solicitările termice şi mecanice, provocate de arcul electric;*

— *uzura mecanică* a pieselor în mişcare;

— *solicitările provocate de acţiunea mediului* în care lucrează aparatul (căldură, umezeală, vapori corosivi, praf, lovituri etc.).

A. SOLICITĂRI ELECTRICE

Solicitarea electrică *este cea la care este supus un izolant electric atunci cînd două regiuni ale sale se află la potenţiale diferite* (fig. 2.1).

Tensiunea U aplicată între cele două regiuni tinde să formeze o cale conductoare de curent, fie prin străpungerea, fie prin conturnarea izolantului (se numeşte *străpungere* formarea unui canal conducător

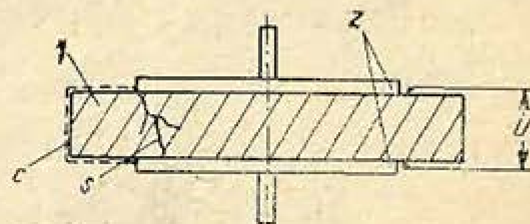


Fig. 2.1. Solicitarea electrică a unui izolant — reprezentare schematică:
1 — izolant; *2* — electrozi; *U* — tensiune aplicată; *c* — linie de conturnare pe suprafaţa izolantului; *s* — linie de străpungere prin izolant.

de electricitate prin interiorul unui izolant solid, lichid sau gazos și *conturnare* — formarea unui canal conducător pe suprafața unui izolant solid).

Pentru a rezista în bune condiții solicitărilor electrice, piesele izolante ale aparatelor electrice se prevăd cu nervuri și canale care măresc distanța pe suprafața piesei între punctele sub tensiune. Pentru a fi eficiente, trebuie ca înălțimea nervurilor, respectiv lățimea canalelor, să fie mai mare de 2 mm.

B. SOLICITĂRI TERMICE

Trecerea curentului electric prin conductoare determină încălzirea acestora, încălzirile fiind mari în locurile în care secțiunea căii de curent este redusă (siguranțe fuzibile) sau rezistivitatea acesteia este mai mare (bimetale, rezistențe).

De asemenea, în locurile de contact, prin care curentul electric trece între două piese, încălzirea locală este mai mare decît în restul piesei, mergînd în unele cazuri de defect pînă la apariția unor puncte de topire.

Încălzirea exagerată a pieselor nu poate fi admisă deoarece ea influențează negativ asupra proprietăților izolante și a duratei de viață a izolanților, asupra rezistenței mecanice a pieselor metalice, asupra elasticității resorturilor etc., motiv pentru care temperaturile maxime admisibile sînt prescrise prin standarde.

Procesul de încălzire a căilor conductoare de curent se desfășoară simultan cu *procesul de răcire* a acestora prin transmiterea unei părți a căldurii primite către piesele învecinate sau către mediul ambiant.

• **Transmiterea căldurii** se realizează de regulă simultan prin *conducție* (trecerea căldurii în interiorul corpurilor solide de la zonele calde la cele reci), prin *convecție* (curenți de fluid formați în lichide și gaze datorită diferențelor de temperatură) și prin *radiație* (emisie de energie termică sub formă de unde electromagnetice).

Puterea totală transmisă mediului ambiant se aproximează cu o relație simplă:

$$P_t = KA\theta, \tag{2.1}$$

unde: K este coeficientul de transmisie totală a căldurii:
$(6-14)10^{-4}$ W/cm² grd pentru piese în aer;
$(7-9)\ 10^{-3}$ W/cm² grd pentru piese în ulei;

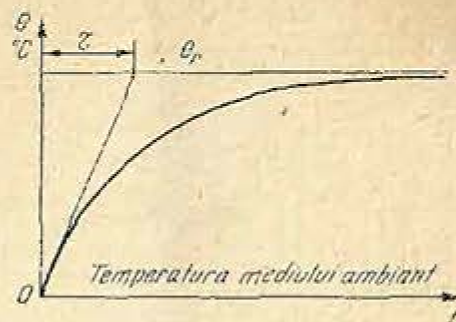


Fig. 2.2. Variația în timp a încălzirii unui conductor străbătut de curent.

A este suprafața de răcire, în cm²;
θ — încălzirea conductorului (supratemperatura sa față de temperatura mediului ambiant), în grade.

Datorită răcirii, încălzirea în timp a conductorului ca urmare a acumulării *puterii primite* prin efect Joule-Lenz ($P_p = RI^2$) se desfășoară în serviciul de durată după o curbă conform figurii 2.2, în care se vede că creșterea temperaturii este din ce în ce mai lentă, obținîndu-se după un anumit timp (teoretic infinit, dar practic egal cu cîteva minute pînă la cîteva ore în funcție de masa corpului) o *stabilizare a temperaturii* la o valoare maximă, numită **temperatură de regim.**

Atingerea acestei valori *corespunde momentului în care din puterea primită nu se mai acumulează nimic, ea fiind în întregime cedată mediulu ambiant.*

Din relația de egalitate $P_p = P_t$ sau $RI^2 = KA\theta_r$ rezultă valoarea supratemperaturii de regim:

$$\theta_r = \frac{\rho}{K}\frac{I^2}{sp} = \frac{\rho}{K}\frac{s}{p}j^2, \tag{2.2}$$

în care:

ρ este rezistivitatea, în Ω cm;
s — secțiunea conductorului, în cm²;
p — perimetrul conductorului, în cm;
j — densitatea de curent, în A/cm².

• **Temperatura conductorului** se obține adunînd încălzirea θ cu temperatura mediului ambiant θ_a.

Valoarea τ din figura 2.2, obținută la intersecția tangentei la curbă (la $t = 0$) cu asimptota la curbă (la $\theta = \theta_r$), reprezintă timpul în care conductorul ar atinge încălzirea de regim în condițiile în care nu ar ceda deloc căldură.

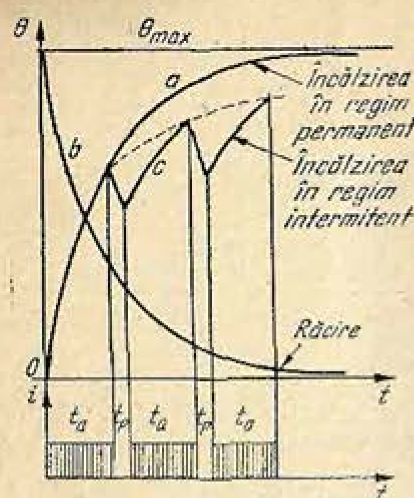


Fig. 2.3. Încălzirea unui conductor în regim de funcționare intermitent:

a — curba de încălzire; b — curba de răcire; c — variația încălzirii în regim intermitent; i — curentul ce străbate conductorul.

Această valoare, numită *constantă de timp*, caracterizează posibilitățile de încălzire și de răcire ale conductorului. Timpul total de atingere a temperaturii de regim este aproximativ egal cu 3τ.

În serviciul intermitent, în care perioadele de încălzire alternează cu perioada de răcire (fig. 2.3), încălzirea maximă atinsă (θ_{ri}) este mai mică decît cea obținută în serviciul de durată la trecerea aceluiași curent.

Cu aproximație, $\theta_{ri} = \theta_r \cdot D_A$, unde D_A este durata relativă de conectare definită anterior (v. rel. 1.4).

În cazul curenților de scurtcircuit, de foarte mare intensitate, dar de foarte scurtă durată, se poate considera că întreaga energie primită este acumulată în calea de curent (conductor).

Rezultă valoarea aproximativă a încălzirii conductorului la scurtcircuit:

$$\theta_{sc} = \frac{\rho}{\gamma c} j^2 t, \qquad (2.3)$$

unde:

c este căldura specifică a materialului conductorului, în Ws/g grd;
γ — greutatea specifică a materialului, în g/cm³;
j — densitatea de curent a scurtcircuitului de durată, în A/cm²;
t — durata scurtcircuitului, în s.

În tabelul 2.1 sînt dați cîțiva parametri fizici pentru o serie de materiale conductoare și rezistive.

Tabelul 2.1

Parametrii fizici ai materialelor conductoare și rezistive

Materialul	Masa specifică [g/cm³]	Rezistivitatea ρ la 20°C [Ω cm]	Coeficientul de temperatură al rezistivității α_ρ [1/grd]	Conductivitatea termică λ [W/cm · grd]	Căldura specifică volumetrică γ_c [Ws/cm³ · grd]
Argint	10,5	$1{,}65 \cdot 10^{-6}$	$4{,}42 \cdot 10^{-3}$	4,18	2,60
Cupru	8,93	$1{,}78 \cdot 10^{-6}$	$4{,}39 \cdot 10^{-3}$	3,93	3,76
Aluminiu	2,7	$2{,}90 \cdot 10^{-6}$	$4{,}00 \cdot 10^{-3}$	2,10	2,40
Oțel	7,86	$(10-25) \cdot 10^{-6}$	$5{,}00 \cdot 10^{-3}$	0,65	3,60
Zinc	7,14	$6{,}4 \cdot 10^{-6}$	$4{,}00 \cdot 10^{-3}$	1,10	2,73
Alamă	8,5	$(6-8) \cdot 10^{-6}$	$2{,}00 \cdot 10^{-3}$	1,10	3,20
Constantan (54 Cu, 46 Ni)	8,96	$50 \cdot 10^{-6}$	$-0{,}01 \cdot 10^{-3}$	0,22	3,65
Manganină (84 Cu, 4 Ni, 12 Mn)	8,3	$43 \cdot 10^{-6}$	$\pm 0{,}01 \cdot 10^{-3}$	0,22	3,40
Nichelină (67 Cu, 31 Ni, 2 Mn)	8,9	$40 \cdot 10^{-6}$	$0{,}20 \cdot 10^{-3}$	—	3,54
Crom-nichel (62 Ni, 15 Cr, 23 Fe)	8,15	$110 \cdot 10^{-6}$	$0{,}13 \cdot 10^{-3}$	0,13	3,74
Fontă cenușie	7,6	$80 \cdot 10^{-6}$	$1{,}10 \cdot 10^{-3}$	—	2,70

C. SOLICITĂRI ELECTRODINAMICE

În regim normal de funcționare a aparatelor, solicitările mecanice datorate forțelor electrodinamice sînt mici. În cazuri de accidente însă, în instalație pot să apară curenți de scurtcircuit de mii și zeci de mii de amperi, asupra căilor conducătoare de curent ale aparatelor se exercită forțe de atracție sau respingere de mii sau chiar zeci de mii de newtoni, ceea ce solicită mecanic întregul aparat și, îndeosebi, căile conducătoare de curent și izolația de susținere a acestora.

În cazul a două conductoare paralele străbătute respectiv de curenții I_1 și I_2, forțele sînt de atracție cînd curenții sînt de același sens și de respingere cînd curenții sînt de sensuri contrare (fig. 2.4, *a* și *b*).

- **Valoarea forțelor electrodinamice** este dată de relația

$$F = 2\, I_1 I_2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-8}\ [\text{daN}] \qquad (2.4)$$

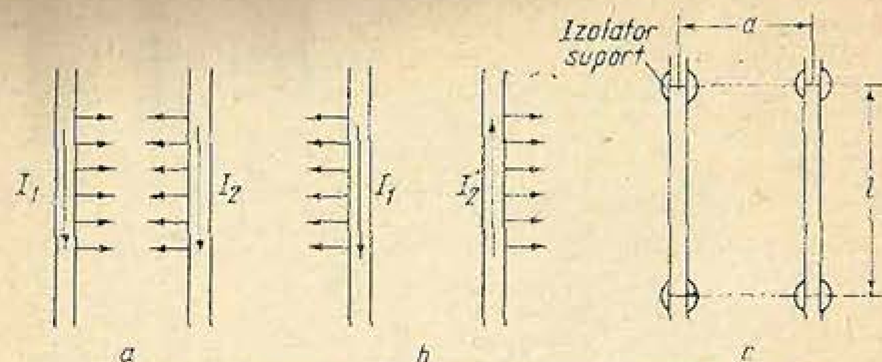


Fig. 2.4. Forțe electrodinamice între conductoare paralele:
a — curenți în același sens; b — curenți în sens contrar; c — bare conductoare de curent susținute de izolatoare-suport.

sau, dacă $I_1 = I_2 = I$:

$$F = 2I^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-8} \text{ [daN]}, \quad (2.5)$$

în care:

I este curentul de scurtcircuit de șoc* care străbate cele două conductoare, în A_{max};
l — lungimea de conductor luată în considerație (de exemplu, distanța dintre două izolatoare-suport);
a — distanța dintre conductoare (fig. 2.4, c) (l și a se exprimă în aceleași unități).

• **Defectele cele mai frecvent întîlnite,** provocate de efectul forțelor electrodinamice, sînt:

— *îndoirea conductoarelor* și, prin aceasta, reducerea distanțelor de izolare;
— *slăbirea legăturilor* și chiar desprinderea conductoarelor din legături;
— *slăbirea presiunii pe contacte,* care poate determina sudarea contactelor;
— *distrugerea* prin solicitare mecanică a *izolatoarelor-suport;*
— *deschiderea separatoarelor sub sarcină,* lucru deosebit de grav, care poate produce scurtcircuite în instalație și deteriorări importante ale acesteia;
— *deformarea bornelor.*

* amplitudinea primei alternanțe a curentului de scurtcircuit.

D. SOLICITĂRI DATORATE MEDIULUI ÎN CARE LUCREAZĂ APARATELE

În timpul funcționării lor, aparatele electrice sînt puternic influențate de acțiunea diferiților agenți fizici, cum sînt: umiditatea, praful, radiațiile solare, vaporii corosivi etc. Aceștia, acționînd asupra unor elemente sensibile ale aparatelor, pot determina funcționarea necorectă sau scoaterea lor din funcțiune.

1. Condiții normale de mediu

Cea mai mare parte a aparatelor se construiesc pentru a funcționa în condiții normale, adică în aer, într-un mediu cu următoarele caracteristici (conform STAS 553/3-80):

— altitudinea: pînă la 2 000 m;
— temperatura mediului înconjurător: cuprinsă între −15°C și +40°C (media zilnică nedepășind 35°C);
— umiditatea relativă a mediului înconjurător: maximum 90% la temperatura de 20°C sau 50% la temperatura de 40°C;
— lipsă de praf și agenți corosivi.

• **Aparate de înaltă tensiune** se construiesc, în funcție de locul de utilizare, chiar pentru „condiții normale" de mediu, în două variante:

— aparate destinate să funcționeze în interiorul clădirilor (construcții *„de interior"*);
— aparate destinate să funcționeze în aer liber (construcții *„de exterior"*).

Aparatele de exterior, fiind supuse acțiunii directe a intemperiilor (ploaie, zăpadă, chiciură), acțiunii radiațiilor solare, a vîntului și a unor depuneri mai bogate de praf, au izolația exterioară dimensionată mai larg și o construcție mai robustă (la care se iau, de asemenea, măsuri de protecție împotriva pătrunderii în aparat a apei de ploaie, împotriva efectului radiațiilor solare și a unor variații mai mari de temperatură).

• **Aparatele de joasă tensiune** se pot construi în multe variante de protecție. Gradele de protecție au fost normalizate.

Simbolizarea gradelor normale de protecție se face (conform STAS 5999-75) prin literele IP urmate de trei cifre caracteristice, caracterizînd fiecare dintre ele protecția la o anumită solicitare:

— *prima cifră,* care poate lua valori între 0 și 6, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii corpurilor solide și a prafu-

lui și de protecție a persoanelor împotriva electrocutării prin atingerea pieselor sub tensiune;

— *a doua cifră*, care poate lua valori între 0 și 8, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii apei;

— *a treia cifră*, care poate lua valori între 0 și 5, simbolizează grade normale de protecție împotriva solicitărilor mecanice.

De exemplu, un aparat pe care este marcată protecția IP-442 este astfel construit încît:

— în aparat nu pot pătrunde corpuri străine avînd dimensiuni peste 1 mm;

— în aparat nu poate pătrunde apă sau alte lichide sub formă de stropi, indiferent de direcția din care vin aceștia;

— aparatul suportă, fără deteriorări, căderea pe aparat a unei greutăți de 0,5 kg de la o înălțime de 40 cm deasupra acestuia.

2. Condiții speciale de mediu

Există numeroase situații în care condițiile de utilizare a aparatelor electrice ies din cadrul condițiilor normale:

— temperaturi ale mediului mai mari decît 40°C sau foarte joase (sub −5°C);

— altitudine la locul de utilizare peste 2 000 m;

— atmosferă încărcată cu praf industrial;

— prezență de pulberi sau gaze inflamabile ori explozive;

— climat diferit de cel *temperat* (diferit de „condițiile normale", care corespund în linii mari climatului temperat din Europa).

Aceste condiții de mediu determină solicitări deosebite ale aparatajului electric și, de aceea, pentru astfel de utilizări se elaborează construcții speciale, dintre care se menționează cele de mai jos.

• *Aparate destinate să funcționeze în climat normal, dar în încăperi cu umiditate mărită* (băi, pivnițe, grajduri, instalații tehnologice în care se produce abur etc.). Aceste aparate se introduc în carcase etanșe. Se folosesc anumiți izolanți rezistenți la umiditate și se iau măsuri deosebite de protecție a pieselor metalice împotriva coroziunilor.

• *Aparate destinate să funcționeze în mediu cu aer marin* (aparate *„în construcție navală"*). Atmosfera din zona mărilor solicită foarte sever aparatajul electric, deoarece atmosfera umedă și sărată favorizează coroziunea pieselor metalice și înrăutățește mult comportarea pieselor electroizolante. Se iau măsuri de protecție a metalelor împotriva coroziunii și se folosesc aliaje rezistente la acțiunea corosivă a apei de mare, cum sînt bronzul și siluminiul.

• *Aparate destinate să funcționeze la altitudini de peste 2 000 m* sau în instalații electrice la bordul avioanelor. La *altitudini* mai mari de 2 000 m se face simțită influența rarefierii aerului, care determină:

— reducerea tensiunii de utilizare;

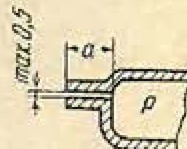
— înrăutățirea condițiilor de răcire;

— modificarea, la altitudini de peste 6—7 000 m, a condițiilor de stingere a arcului electric.

• *Aparate destinate să funcționeze în medii conținînd pulberi sau gaze explozive.* Arcul electric care se formează în mod normal la funcționarea aparatelor de întrerupere, sau cel care se poate forma în caz de accidente prin străpungerea sau conturarea unei izolații imperfecte, poate provoca incendii sau explozii grave, dacă atmosfera este încărcată cu substanțe inflamabile sau explozive. Astfel de situații se întîlnesc în minele de cărbuni, în care există pericolul de apariție a gazului „grizu" (amestec de metan cu aer), în instalațiile de extragere, prelucrare și depozitare a produselor petroliere și în multe instalații din industria chimică. Aparatele antiexplozive se marchează cu simbolul general Ex (STAS 6877/1-73).

Dintre diferite procedee care urmăresc să evite aprinderea amestecului exploziv, mai importante sînt *imersiunea în ulei* (simbol O) și *capsularea antideflagrantă* (simbol d).

Capsularea antideflagrantă este soluția cea mai frecvent folosită. Ea constă în închiderea aparatului într-o carcasă metalică rezistentă la presiunea maximă ce poate apărea în cazul unei explozii în interiorul aparatului. De asemenea, carcasa metalică a aparatului este astfel construită încît gazele din interior, aprinse în momentul apariției arcului electric, sînt aruncate în afară prin interstiții foarte înguste, care determină o răcire puternică a gazelor și împiedică astfel transmiterea exploziei în exterior. Lățimea și lungimea interstițiului au valori impuse prin norme și variază în funcție de volumul carcasei și de natura mediului exploziv (fig. 2.5);



Capacitatea l	Presiunea p at	Lățimea a mm min
<0,5	5	6
0,5–2	6	15
>2	8	25

Fig. 2.5. Dimensiunile interstițiului și presiunea de încercare a carcaselor aparatelor antigrizutoase, în funcție de capacitatea carcasei (1 at = $1{,}01326 \cdot 10^5$ N/m²).

• *Aparate destinate să funcționeze în climatul țărilor calde* (climat tropical). Materialele izolante folosite și acoperirile pieselor metalice se aleg în funcție de tipul climatului tropical:

— *climat tropical umed* (TH), caracterizat prin temperatură și umiditate mare, variații mari de temperatură între zi și noapte și microorganisme (mucegaiuri, ciuperci);

— *climat tropical uscat* (TA), caracterizat prin temperaturi înalte, radiații solare puternice, furtuni de nisip.

• *Aparate destinate să funcționeze în medii foarte friguroase* (condiții simbolizate cu „F"), caracterizate prin temperaturi foarte joase (—60°). Aparatele trebuie construite cu materiale speciale și locurile de frecare trebuie unse cu unsori siliconice.

Verificarea cunoștințelor

2.1. Ce deosebire este între conturnare și străpungere?

2.2. La ce tensiune se încearcă un aparat de 35 kV? Dar unul de 110 kV?

2.3. Stabiliți relația de calcul pentru încălzirea maximă a unui conductor de secțiune circulară de diametru h.

2.4. Stabiliți relația de calcul pentru încălzirea maximă a unui conductor de secțiune rectangulară $a \times b$.

2.5. Determinați încălzirea maximă a unei bare de alamă cu diametrul de 20 mm, la trecerea unui curent de 600 A, știind că $\rho = 8 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot cm$; $K = 10^{-3}\ W \cdot cm^2 \cdot grd$.

2.6. Ce curent poate străbate în regim permanent o bară de cupru de 20×4 mm, astfel încît încălzirea ei să nu depășească 120 grd, știindu-se că $\rho = 2 \cdot 10^{-6} \cdot \Omega \cdot cm$ și $K = 10^{-3}\ W \cdot cm^2 \cdot grd$?

2.7. Ce temperatură va căpăta o bară de aluminiu cu diametrul de 20 mm în timp de 2,5 s, la o densitate de curent de scurtcircuit de 49 A/mm², știindu-se că $\rho = 3 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot cm$; $\gamma_c = 4 \cdot 10^{-3}\ Ws \cdot cm^2 \cdot grd$; $\theta_a = 20°C$?

2.8. Care sînt modurile de transmitere a căldurii?

2.9. Ce energie este transmisă mediului exterior într-o zi de un aparat cu o suprafață de răcire de 1,25 m² la o diferență de temperatură de 30 grd, știindu-se că valoarea coeficientului mediu de transmisie totală este $K = 8 \cdot 10^{-4}\ W/cm^2 \cdot grd$?

2.10. Ce forță se exercită între două bare paralele cu lungimea de 2 m situate la distanța de 35 cm, la un curent de scurtcircuit de durată (stabilizat) $I_d = 60$ kA, știindu-se că valoarea curentului de scurtcircuit de șoc este $I_s = 1{,}8\sqrt{2}\, I_d$?

2.11. Ce efect pot avea forțele electrodinamice?

2.12. Ce reprezintă a doua cifră din simbolizarea gradelor normale de protecție?

2.13. Sînt aparatele în execuție antideflagrantă etanșe sau nu?

Capitolul 3
ARCUL ELECTRIC DE ÎNTRERUPERE

A. IONIZAREA ȘI DEIONIZAREA GAZELOR. CARACTERISTICA VOLT-AMPER A ARCULUI ELECTRIC

Atomul oricărui corp este format dintr-un *nucleu* și din mai mulți *electroni* care se rotesc în jurul acestuia.

Electronul este încărcat cu electricitate negativă, iar nucleul — cu electricitate pozitivă. În condiții normale, cantitatea de electricitate negativă a tuturor electronilor unui atom compensează cantitatea de electricitate pozitivă a nucleului acestuia, astfel încît, față de mediul exterior, atomul este neutru din punct de vedere electric.

Dacă însă printr-un procedeu oarecare i se smulge atomului un electron, sarcina electrică a atomului nu mai este nulă (atomul nu mai este neutru din punct de vedere electric) și el apare ca fiind încărcat cu o anumită cantitate de electricitate pozitivă. Un astfel de atom se numește *ion pozitiv*.

• *Orice proces prin care se realizează smulgerea electronilor de pe orbitele lor, cu formarea de electroni liberi și ioni pozitivi*, poartă numele de **ionizare.**

Un gaz în care au apărut electroni liberi și ioni devine *ionizat*. În această stare, gazul își pierde proprietățile izolante și devine conducător de electricitate, conductivitatea sa fiind cu atît mai mare, cu cît gazul este mai puternic ionizat.

La aparatele electrice, ionizarea se produce în special pe două căi:

— prin ciocnirea unui electron avînd viteză (și deci energie cinetică) mare cu un atom neutru *(ionizare prin șoc)*;

— sub acțiunea temperaturilor foarte înalte *(ionizare termică)*.

La separarea sub sarcină a contactelor unui aparat electric, datorită diferenței de potențial dintre contacte și încălzirii mari a punctelor de contact în momentul întreruperii, se produce o ionizare puternică a aerului, care devine bun conducător de electricitate și permite formarea între contacte a unui arc electric prin care curentul continuă să circule.

• **Descărcarea prin arc** se caracterizează prin *ionizare intensă* a spațiului (ionizarea termică este predominantă), *emisie de electroni din metalul catodului* (datorită încălzirii sale și cîmpului electric mare între coloană și catod), *temperatura foarte înaltă* a coloanei arcului și

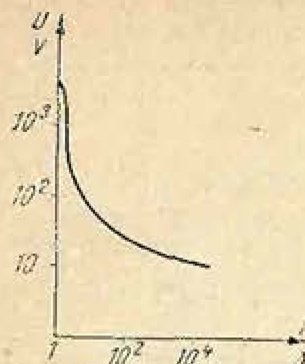


Fig. 3.1. Caracteristica tensiune-curent a unei descărcări prin arc.

a capetelor acestuia (6 000 ... 7 000°C), *luminozitate* extrem de intensă a coloanei, *caracteristică tensiune-curent** *(volt-amper) negativă* (fig. 3.1).

• În spațiul dintre contacte se petrec însă, în același timp cu procesele de ionizare, și **procese inverse, de deionizare,** prin care se reduce numărul de particule ionizate.

Astfel de procese de deionizare sînt:

— *recombinarea* între electronii liberi și ionii pozitivi, formîndu-se astfel atomi neutri;

— *ieșirea electronilor* din spațiul de descărcare și împrăștierea lor în spațiul înconjurător.

Datorită temperaturii foarte mari a arcului electric, efectele sale sînt foarte puternice și duc la solicitări importante ale pieselor învecinate (atît metalice, cît și izolante). Au loc topiri ale pieselor de contact, ceea ce duce la uzura lor și arderi ale pieselor izolante, ale căror caracteristici se înrăutățesc.

Stingerea arcului electric într-un timp cît mai scurt pentru a limita efectele sale este o problemă deosebită pentru constructorii de aparate.

B. METODE ȘI DISPOZITIVE DE STINGERE A ARCULUI ELECTRIC

Stingerea arcului electric în aparatele de comutație urmărește *frînarea proceselor de ionizare și favorizarea celor de deionizare.*

Favorizarea proceselor de deionizare se realizează îndeosebi prin:

— folosirea unor contacte de rupere din *materiale cu punct de vaporizare cît mai ridicat;*

— menținerea unei *presiuni ridicate* în zona în care se dezvoltă arcul electric;

— *răcirea spațiului* în care se dezvoltă arcul electric;

— *deplasarea arcului electric,* prin suflaj magnetic, în zone cu gaze reci sau în contact cu pereții reci ai unei „camere de stingere";

— insuflarea în zona arcului electric a unui *jet de gaz sau lichid rece;*

— *folosirea gazelor electronegative* (hexafluorura de sulf) care au proprietatea de a fixa electroni pe atomii neutri, formînd ioni negativi cu mobilitate mult mai redusă;

— *folosirea stingerii în vid înaintat.*

* căderea de tensiune în arc funcție de mărimea curentului.

1. Stingerea arcului de curent continuu

În ceea ce privește arcul de curent continuu, se constată următoarele:

— *în coloana de arc căderea de tensiune este uniformă* și are o valoare cuprinsă între 15 și 30 V/cm, în funcție de mărimea curentului, natura, presiunea și viteza de deplasare a gazului;

— *în imediata apropiere a electrozilor, apare o cădere de tensiune* de 20—30 V, în funcție de valoarea curentului și de materialul electrozilor.

Rezultă că se poate exprima căderea de tensiune în arc prin relația

$$U_a = A + Bl,$$

în care:

U_a este căderea de tensiune între electrozi, în V;
A = 20 ... 30 V — cădere de tensiune lîngă electrozi;
B = 15 ... 30 V/cm — căderea specifică de tensiune în coloana de arc;
l — lungimea arcului, în cm.

Pentru stingerea arcului de curent continuu este necesară o cădere de tensiune în arc egală cu cel puțin tensiunea sursei. Mărirea necesară a căderii de tensiune în arc se poate obține pe una dintre următoarele căi:

— *creșterea lungimii arcului,* care se obține prin folosirea unor prelungiri înclinate ale contactelor, numite coarne de suflaj (fig. 3.2);

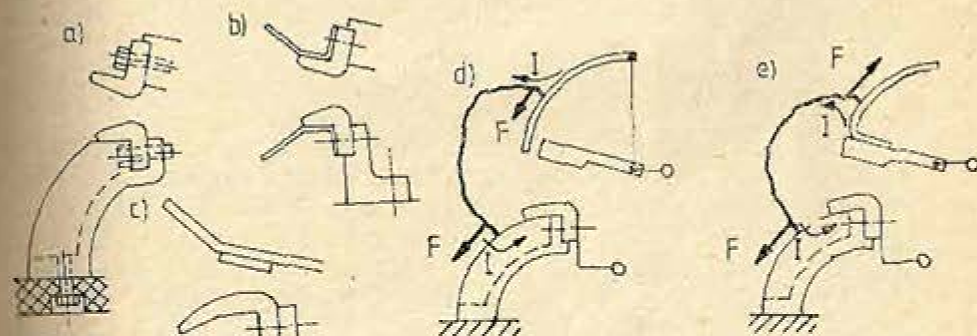


Fig. 3.2. Coarne de suflaj:

a, b, c — diverse tipuri constructive; d — legarea incorectă a cornului; e — legarea corectă a cornului.

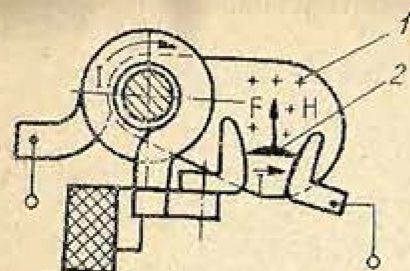


Fig. 3.3. Dispozitiv de stingere a arcului de c.c. prin suflaj magnetic:
a — pereți metalici care aduc cîmpul magnetic perpendicular pe arc; b — arcul electric.

— *divizarea arcului*, folosită la aparatele care au rupere dublă, întrerupînd circuitul simultan în două puncte;

— *deplasarea rapidă a arcului, concomitent cu lărgirea lui, cu ajutorul suflajului magnetic.*

În acest caz se folosește forța care acționează asupra unui conductor străbătut de curent electric (în cazul nostru — arcul electric) și aflat într-un cîmp magnetic. În dispozitivele de acest fel, larg utilizate în aparatele de curent continuu, cîmpul magnetic este creat chiar de curentul care străbate aparatul și care trebuie întrerupt (fig. 3.3).

Toate metodele de stingere a arcului de c.c. menționate mai sus sînt combinate cu răcirea coloanei de arc, prin aducerea în contact a acesteia cu un perete rece. În acest scop se folosesc camerele de stingere care îmbracă contactele și care sînt astfel construite încît au interstițiile înguste în care arcul electric este obligat să intre, venind în contact cu pereții camerei.

2. Stingerea arcului de curent alternativ

Arcul electric de curent alternativ se deosebește de cel de curent continuu prin următoarele aspecte:

— *valoarea curentului care străbate circuitul se schimbă în fiecare moment*, oscilînd între o valoare maximă pozitivă și o valoare maximă negativă;

— *la fiecare semiperioadă curentul trece prin valoarea zero și polaritatea electrozilor se schimbă.*

Datorită trecerii naturale a curentului prin zero, mijloacele de stingere folosite în aparatele de c.a. își exercită acțiunea în special în această perioadă restabilind prin deionizarea spațiului de arc, rigiditatea dielectrică a acestuia și împiedicînd astfel reamorsarea arcului electric.

În felul acesta, stingerea arcului electric de c.a. se obține cu o distanță mult mai mică între contacte și cu degajare mult mai mică de energie decît stingerea arcului electric de c.c.

Metodele folosite pentru stingerea arcului de curent alternativ sînt:

— *divizarea arcului* într-un mare număr de arcuri scurte în camerele de stingere cu plăcuțe deionice (fig. 3.4). Acestea, fiind din oțel, creează un cîmp magnetic cu efect de atracție asupra arcului electric, ceea ce face ca la majoritatea aparatelor de joasă tensiune să nu mai fie necesar și un dispozitiv de suflaj magnetic;

— *suflajul magnetic*, folosit acum aproape numai la unele aparate de medie tensiune, în combinație cu un grătar deionic;

— *utilizarea mediilor de stingere*:

• solide: nisipul de cuarț (la siguranțe);

• lichide: uleiul sau apa;

• gazoase: aerul comprimat, hexafluorura de sulf, produsele substanțelor gazogene ca aminoplastul sau fibra;

— *vidul înaintat.*

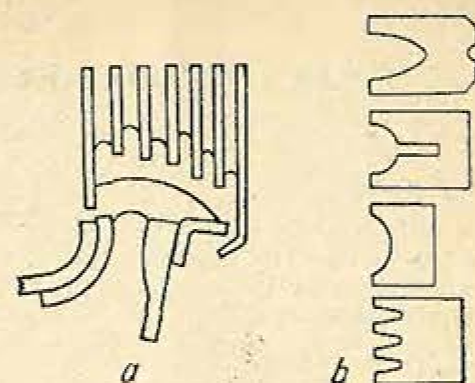


Fig. 3.4. Cameră de stingere cu plăcuțe deionice:
a — secțiune prin cameră; b — diferite forme de plăcuțe folosite la camerele de stingere ale contactoarelor și întreruptoarelor automate de c.a.

Verificarea cunoștințelor

3.1. Care sînt modurile de ionizare?

3.2. Care sînt caracteristicile descărcării prin arc?

3.3. Ce factori favorizează deionizarea spațiului de arc?

3.4. Ce metode se folosesc pentru stingerea arcului electric de curent continuu?

3.5. Ce metode se folosesc pentru stingerea arcului electric de curent alternativ?

3.6. În ce caz crește mai mult căderea de tensiune în arc: cînd se dublează distanța de 11 mm dintre contacte sau cînd se dublează numărul locurilor de rupere, admițîndu-se valorile $A = 22$ V, $B = 20$ V/cm?

Capitolul 4

APARATE PENTRU COMANDĂ MANUALĂ

În instalațiile electrice sînt folosite numeroase tipuri de aparate de joasă tensiune cu acționare manuală atît la închidere cît și la deschidere; ele *servesc numai la stabilirea și întreruperea unor circuite, neavînd rol de protecție.*

Se pot împărți în:

— *aparate de conectare:* întreruptoare și comutatoare cu pîrghie, pachet și cu came, separatoare, întreruptoare de sarcină, întreruptoare cu siguranță, prize și fișe industriale;

— *aparate pentru acționarea mașinilor electrice:* comutatoare stea-triunghi, inversoare de sens, autotransformatoare de pornire, reostate de pornire și excitație, controlere;

— *aparate pentru instalații interioare.*

A. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE CU PÎRGHIE

Sînt aparate de construcție foarte simplă, bazate pe rotirea unor cuțite de contact cu ajutorul unui mîner izolat (fig. 4.1) sau — pentru întreruptoarele montate în spatele tabloului — cu ajutorul unui sistem de pîrghii (fig. 4.2).

Se fabrică în țară la tensiunea nominală de 500 V, pentru curenți între 25 și 100 A cu acționarea directă, în construcție protejată în bachelită, iar pentru curenți între 200 și 1 000 A cu acționare indirectă, în construcție deschisă.

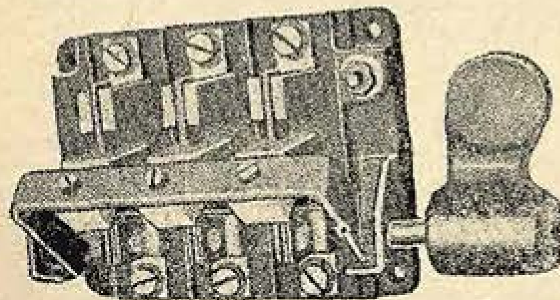
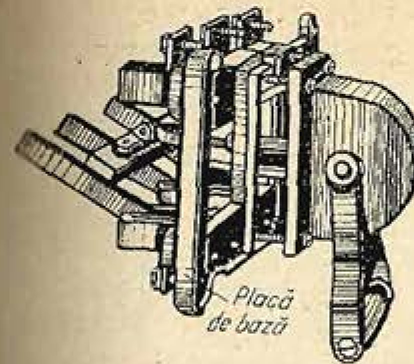


Fig. 4.1. Întreruptor-pîrghie tripolar de 60 A, cu placă de bachelită, cu întrerupere bruscă prin resort.



Contactul	Poziția 0	1	2	3
R-A	–	x	–	–
R-B	–	–	x	–
R-C	–	–	–	x

Fig. 4.2. Întreruptor-pîrghie tripolar montat în spatele tabloului și acționat din fața tabloului prin manetă și sistem de pîrghii.

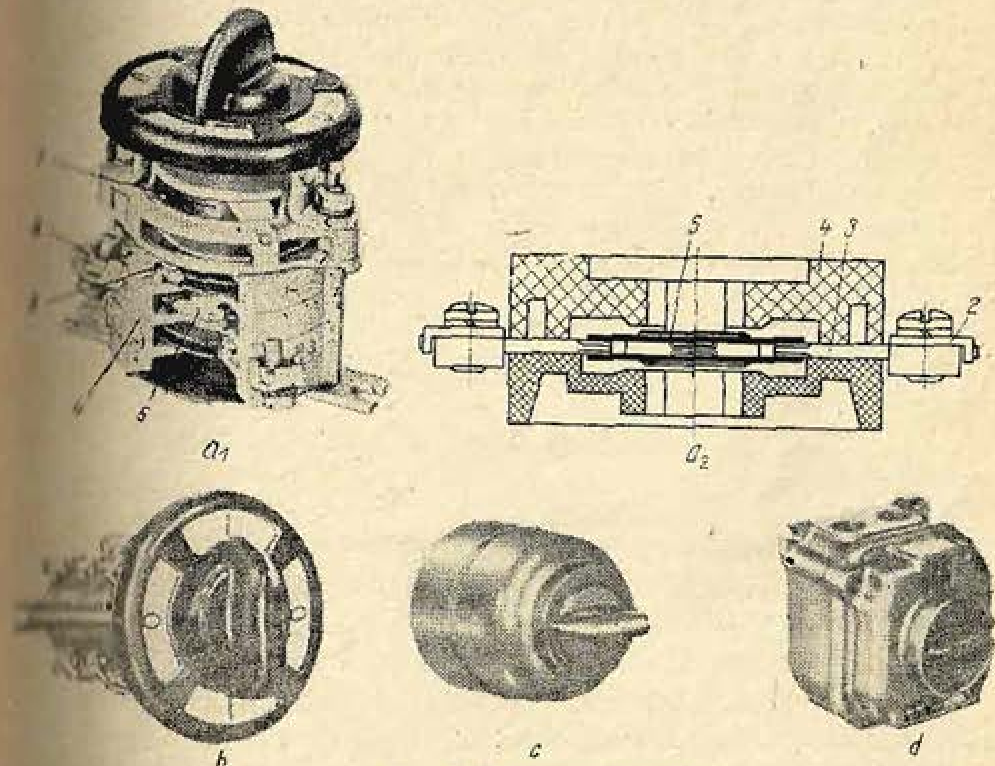


Fig. 4.3. Întreruptoare-pachet:

a_1, a_2 — modele secționate pentru a se putea vedea construcția interioară (1 — sistem de [illegible]cadare; 2 — bornă de racord; 3 — contacte fixe; 4 — plăci de bachelită; 5 — contacte mobile); *b* — execuție deschisă pentru montaj îngropat; *c* — execuție protejată în carcasă de bachelită, pentru montaj aparent; *d* — execuție capsulată în carcasă de fontă.

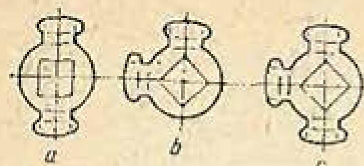


Fig. 4.4. Tipuri de contacte mobile pentru întreruptoare și comutatoare-pachet:
a — contacte în opoziție;
b — contacte în unghi;
c — contacte în T.

B. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE-PACHET

Aparatele se obțin prin înșirarea pe același ax a unui număr variabil de elemente (pacheți) de construcție similară (nu neapărat identice), fiecare element cuprinzînd o cale de curent.

Fiecare cale de curent este formată din două sau trei *contacte fixe*, montate între discuri presate din material electroizolant (bachelită, aminoplast) (fig. 4.3).

Contactele mobile, din material bun conducător și elastic (tombac), sînt așezate pe un ax central și se rotesc solidar cu axul.

Se deosebesc trei tipuri de contacte mobile, primul fiind folosit la întreruptoare, iar celelalte la comutatoare (fig. 4.4), permițînd obținerea unor scheme de comutare foarte variate.

Întreruptoarele-pachet se pot realiza în execuție deschisă, protejată, capsulată, în bachelită sau metal.

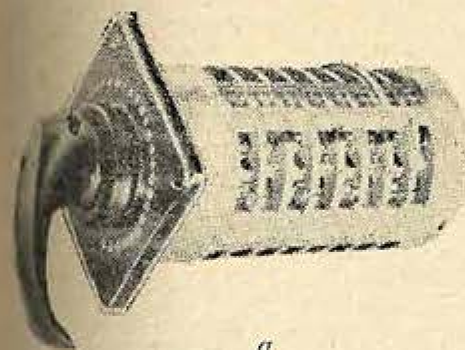
Datorită întreruperii bruște, cu două locuri de rupere și în spațiu închis, se obțin capacități de rupere relativ mari atît în curent alternativ, cît și în curent continuu.

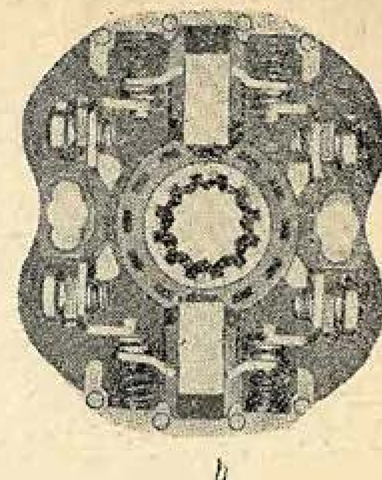
Se construiesc pentru tensiuni de 380—500 V, cu mărimi între 10 și 200 A.

C. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE CU CAME

Din punct de vedere constructiv, întreruptoarele și comutatoarele cu came se aseamănă cu întreruptoarele-pachet, fiind alcătuite tot dintr-un număr variabil de căi de curent suprapuse; deschiderea și închiderea contactelor mobile este, de asemenea, realizată prin acționarea unui ax central comun.

Deosebirea dintre întreruptoarele-pachet și întreruptoarele cu came o constituie modul de realizare a circuitului de curent: la întreruptoarele-pachet, contactele mobile se rotesc o dată cu axul de acționare, contactele fixe fiind așezate pe un cerc periferic, iar închiderea și deschiderea circuitului se realizează între contacte cu frecare de tip furcă, pe cînd la întreruptoarele cu came, contactele mobile execută mișcări





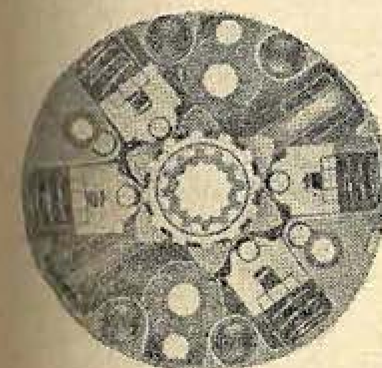


Fig. 4.5. Întreruptor cu came:
a — vedere generală; b — sistemul de contacte; c — sistemul de sacadare.

de translație, închiderea și deschiderea circuitelor realizîndu-se cu ajutorul unor contacte de presiune punctiforme fără frecare (fig. 4.5).

Comutatoarele cu came prezintă performanțe superioare în ceea ce privește durata de viață, care este de 0,5 — 1 milion manevre față de 10 — 5 000 la comutatoarele-pachet, au posibilități mai mari de realizare a unor scheme complexe, gabarite reduse și siguranță mai mare în funcționare, dar au capacități de rupere mai mici, nu se pot folosi în curent continuu și necesită un consum important de argint pentru pastilele de contact.

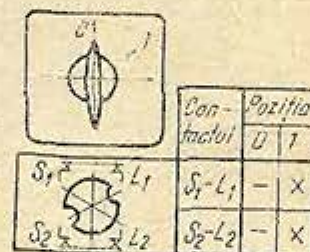


Fig. 4.6. Schema unui întreruptor bipolar.

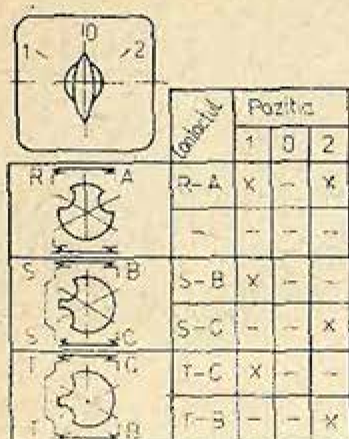


Fig. 4.7. Schema unui comutator tripolar cu două direcții.

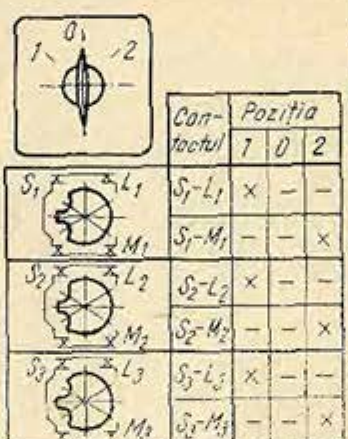


Fig. 4.8. Schema unui inversor de sens.

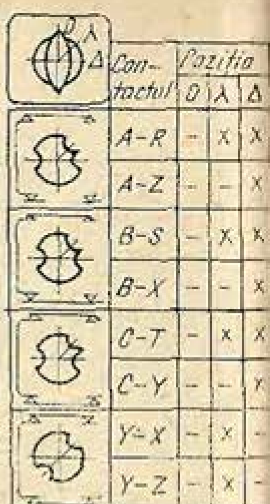


Fig. 4.9. Schema unui comutator stea-triunghi.

În figurile 4.6, 4.7, 4.8 și 4.9 sînt prezentate schemele unor comutatoare cu came uzuale: întreruptor bipolar, comutator tripolar cu două direcții, inversor de sens, comutator stea-triunghi.

Schema se întocmește astfel:

— se completează tabelul punînd semnul × în dreptul contactelor închise în poziția respectivă a butonului.

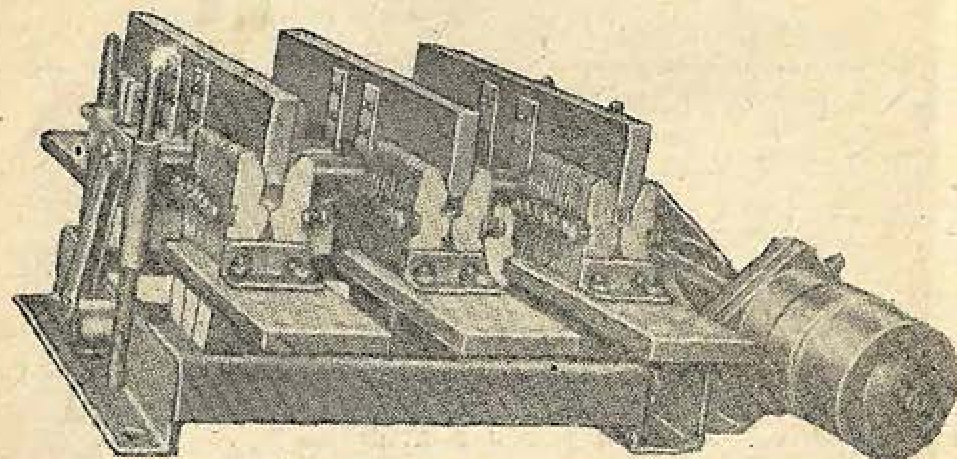


Fig. 4.10. Separator de 2 000 A cu acționare pneumatică.

— se marchează adîncituri pe came în dreptul pozițiilor respective ale butonului pentru contactele de sus și în poziția opusă pentru contactele de jos.

D. SEPARATOARE

Se folosesc pentru întreruperea circuitelor sub tensiune, dar fără sarcină. Au o construcție asemănătoare celei a întreruptoarelor cu pîrghie; se fabrică pentru curenți între 200 și 4 000 A (fig. 4.10).

Pentru separatoare este obligatoriu ca poziția contactelor să fie vizibilă.

E. ÎNTRERUPTOARE DE SARCINĂ

Se folosesc din ce în ce mai mult în locul întreruptoarelor cu pîrghie, asigurînd față de acestea capacități de rupere și durate de serviciu mai mari în gabarite reduse.

Se realizează fie în construcții derivate din cele ale unor întreruptoare automate, la care s-au eliminat releele (fig. 4.11), fie în construcții speciale (fig. 4.12).

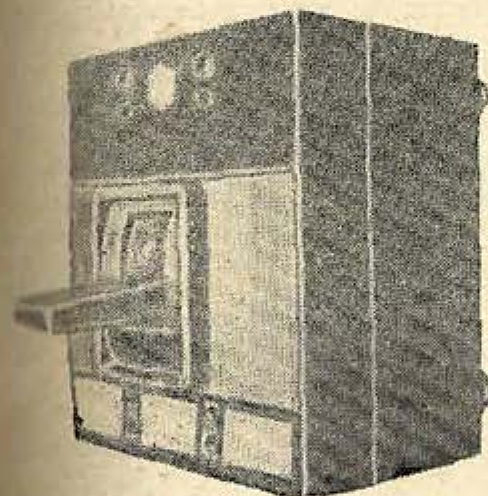


Fig. 4.11. Întreruptor de sarcină de 500 A.

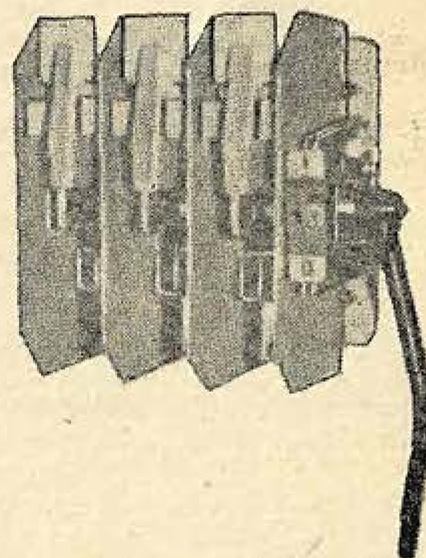


Fig. 4.12. Întreruptor de sarcină de 640 A.

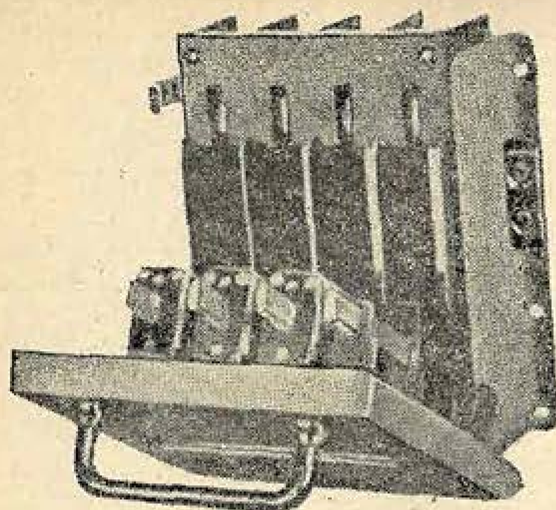


Fig. 4.13. Întreruptor cu siguranțe MPR.

F. ÎNTRERUPTOARE CU SIGURANȚE

În orice tablou de distribuție sau de comandă fiind necesar atît un întreruptor general, cît și un grup de trei siguranțe fuzibile de protecție, s-a născut ideea combinării celor două funcțiuni într-o construcție comună, realizîndu-se astfel o economie de material și de spațiu. Întreruptoarele cu siguranțe se realizează fie în varianta simplă din figura 4.13, fie într-o construcție în care siguranțele sînt independente de întreruptor, construcție mai complicată, dar care elimină riscul accidentării operatorului în cazul închiderii întreruptorului pe un scurtcircuit (fig. 4.14).

G. PRIZE ȘI FIȘE INDUSTRIALE

Se utilizează pentru conectarea la rețea a consumurilor mobili, cum sînt grupurile de sudură, mașinile de găurit și polizoarele portative etc.

Priza este fixă, avînd contactele conectate la rețea, iar fișa *este mobilă,* avînd contactele conectate la cordonul flexibil de alimentare a consumatorului.

Contactele-prizei sînt în formă de teacă cilindrică sau de furcă și protejate împotriva atingerii (deoarece sînt sub tensiune); *contactele fișei* sînt în formă de știft cilindric sau de lamelă și sînt protejate numai împotriva loviturilor.

Prizele și fișele industriale sînt tripolare; ele au în plus un *contact de nul* și un *contact de pămînt* sau cel puțin unul cu ambele funcțiuni.

Știftul de contact corespunzător contactului de pămînt trebuie să fie mai lung, astfel ca legătura la pămînt să se facă înaintea celorlalte.

O **Notă.** Construcția prizei, amplasarea sau dimensiunile știfturilor trebuie astfel realizate încît *introducerea fișei în priză să nu fie posibilă decît în poziția corectă.*

Prizele și fișele industriale se construiesc pentru tensiunea de 380—500 V și curenți nominali între 16 și 100 A (fig. 4.15).

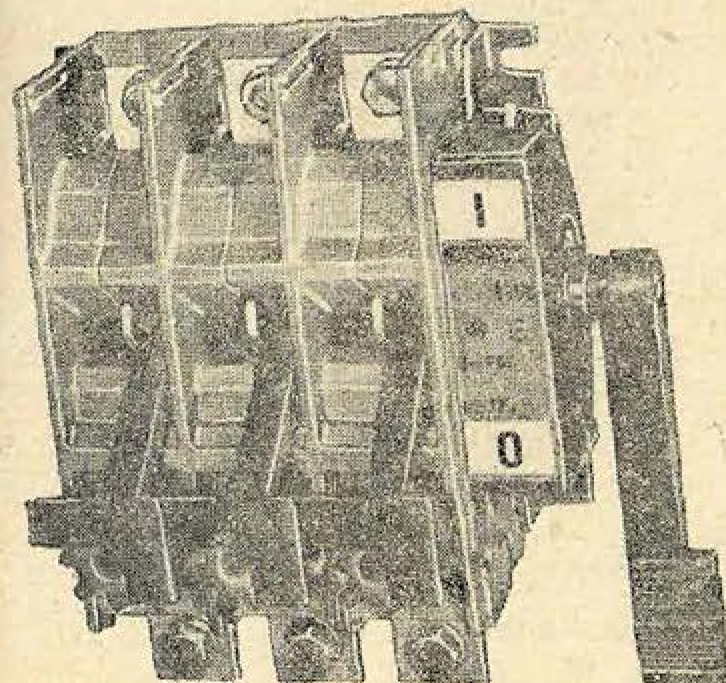


Fig. 4.14. Întreruptor tripolar 125 A cu siguranțe tubulare independente.

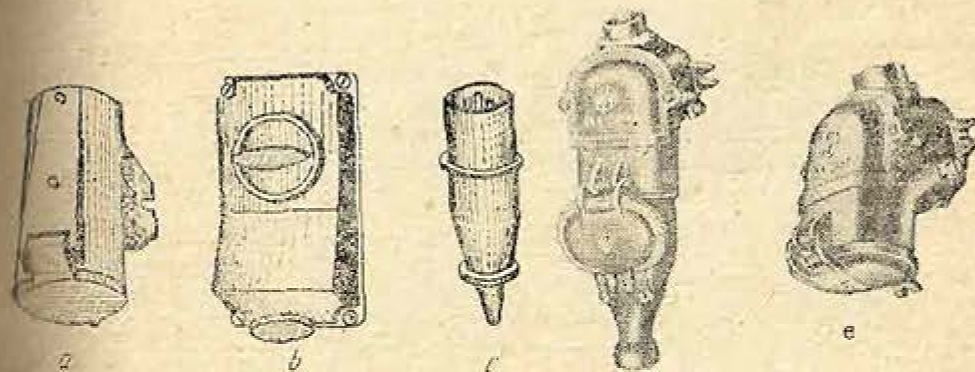


Fig. 4.15. Prize și fișe industriale:
din material plastic: *a, b* — prize; *c* — fișă; din metal: *d* — priză și fișă cuplate; *e* — priză.

○ **Este interzisă** *întreruperea curentului prin scoaterea fișei din priză.*

Pentru prizele de 63 A și mai mari este obligatorie includerea în corpul prizei a unui întreruptor prevăzut cu un mecanism de blocare care împiedică scoaterea fișei din priză dacă intreruptorul nu este deschis.

H. COMUTATOARE STEA-TRIUNGHI

Aceste comutatoare servesc pentru comanda pornirii și opririi motoarelor electrice *asincrone* cu rotorul în scurtcircuit și au rolul de a *reduce valoarea curentului absorbit de motor în timpul pornirii.*

Comutatorul stea-triunghi se poate utiliza numai dacă motorul este astfel bobinat încît să aibă, în regim de lucru, bobinajul statoric conectat în triunghi.

Deci la o rețea de 380 V între faze poate fi conectat prin comutator stea-triunghi numai un motor pe a cărui etichetă scrie 660/380 V sau Δ 380 V.

Principiul de funcționare constă în a realiza *pornirea în două etape:*

— mai întîi se aplică motorului, conectat în stea, tensiunea rețelei (tensiunea aplicată fiecărei faze este deci de 1,73 ori mai mică decît tensiunea rețelei);

— îndată ce motorul a atins turația nominală (nu mai devreme și nici mult mai tîrziu), se modifică legăturile motorului in triunghi.

În felul acesta, *curentul de pornire absorbit de motor este redus la* 1/3 din valoarea pe care ar fi avut-o dacă se conecta direct în triunghi. Deoarece și cuplul de pornire scade la 1/3, pornirea prin comutatoare stea-triunghi poate fi folosită numai dacă motorul pornește în gol sau sub sarcină redusă.

Comutatoarele stea-triunghi pentru curenți pînă la 100 A se realizează acum pe baza comutatoarelor cu came (v. schema din fig. 4.9), pentru curenți mai mari folosindu-se aproape exclusiv comutatoare automate (v. cap. 6).

I. INVERSOARE DE SENS

Realizate tot pe baza comutatoarelor cu came (v. schema în fig. 4.8), inversoarele de sens pentru motoare asincrone schimbă între ele două faze ale circuitului de alimentare.

J. AUTOTRANSFORMATOARE DE PORNIRE

Autotransformatorul de pornire este un transformator trifazat în V cu numai două faze bobinate. Cu ajutorul *unui comutator,* motorul este conectat inițial la prizele mediane, fiind astfel alimentat la tensiune redusă.

K. REOSTATE DE PORNIRE ȘI REGLARE

Pornirea motoarelor de curent alternativ cu rotorul bobinat se face prin scurtcircuitarea treptată a rezistențelor conectate în circuitul rotoric. Soluția constructivă adoptată depinde de mărimea motorului, respectiv a rezistențelor, precum și de frecvența pornirilor.

Pentru motoare mici și frecvențe mici de pornire se folosesc *reostate de pornire* care cuprind în același ansamblu atît rezistențele, cît și comutatorul de trepte.

Pentru motoarele mari, devine necesară amplasarea separată a *bateriei de rezistență* (fig. 4.16) și a *comutatorului de trepte.* Se folosesc în acest caz, pentru scurtcircuitarea treptelor, *controlere cu tobă* (fig. 4.17), cu care se realizează de obicei și inversarea de sens și frînarea motorului.

În sfîrșit, pentru frecvențe mari de conectare, se preferă soluția cu *controlere indirecte;* acestea comandă scurtcircuitarea treptelor de pornire prin intermediul unor contactoare.

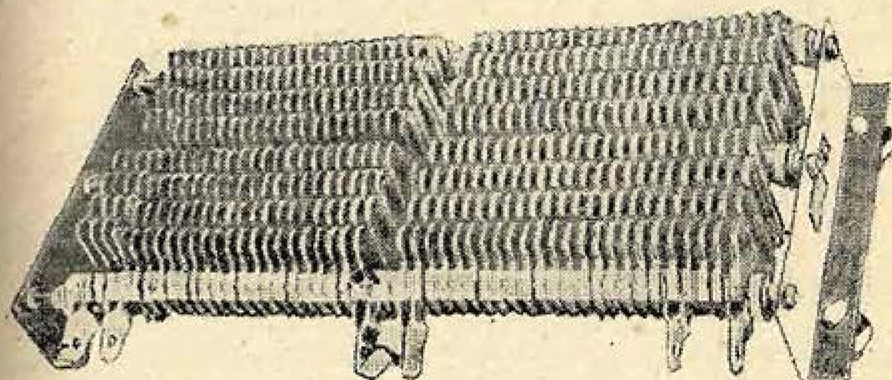


Fig. 4.16. Reostat de pornire.

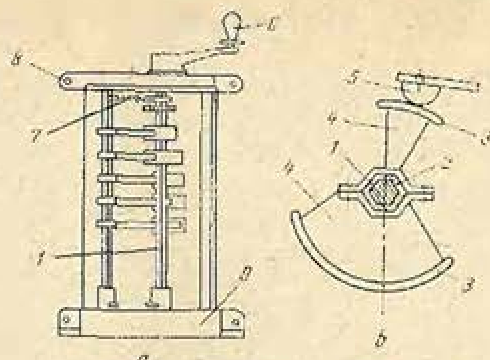


Fig. 4.17. Controler cu tobă:
a — ansamblu; *b* — sistemul de contacte; 1 — ax de acționare a contactelor mobile; 2 — tub izolant; 3 — contacte mobile; 4 — elemente de fixare a contactelor mobile; 5 — contacte fixe; 6 — mîner de acționare; 7 — sistem de sacadare; 8 — capac; 9 — placă de bază.

• **Reostatele de pornire** pot fi fie *cu rezistențe metalice* în aer sau în ulei, fie *cu lichid* (soluție de sodă).

• **Reostatele de reglare** au aceeași construcție, dar fiind solicitate permanent, sînt mai larg dimensionate și uneori prevăzute cu ventilatoare sau alte dispozitive de răcire forțată.

Rezistențele metalice din construcția reostatelor sînt executate din sîrme sau benzi din *material rezistiv* (crom-nichel, fecral, constantan etc.).

Rezistențele pentru motoare mari, amplasate în baterii separate, se execută din *elemente de fontă sau tablă silicioasă*, strînse pe două sau trei axe izolate, între ele fiind introduse alternativ — în vederea asigurării continuității circuitului — rondele izolante sau metalice.

L. REOSTATE DE EXCITAȚIE

Se folosesc pentru *reglarea tensiunii furnizate de generatoare prin modificarea curentului de excitație*. Sînt formate, ca și reostatele de pornire, dintr-un comutator cu ploturi fixat de o placă izolantă și dintr-o serie de rezistoare din sîrmă spiralizată, conectate la ploturile respective și amplasate într-o cutie metalică (fig. 4.18).

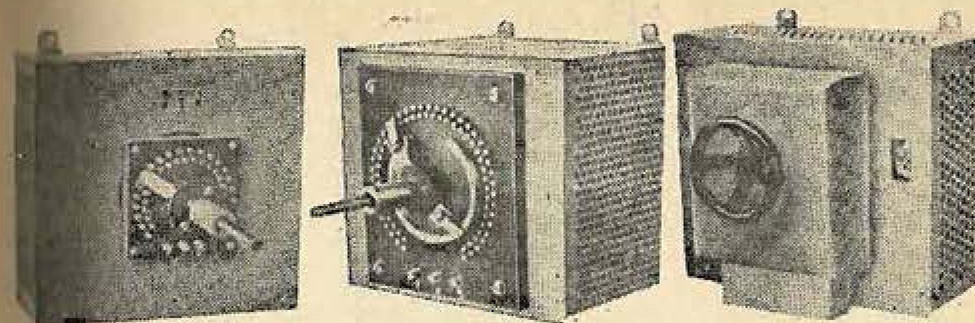


Fig. 4.18. Reostate de excitație — diferite forme constructive.

M. CONTROLERE

• **Controlerele cu tobă**, folosite pentru *comutarea directă* a curenților mari, sînt constituite din următoarele elemente principale (fig. 4.17):

— un ax izolat care poate fi rotit din exterior și pe care sînt montate contactele mobile în formă de sectoare circulare cu diferite unghiuri la contur;

— unul sau două axe izolate pe care sînt montate contactele fixe prevăzute cu elemente arcuitoare care asigură forța de apăsare necesară.

La controlerele de curent continuu se folosesc și camere de stingere cu suflaj magnetic.

Se construiesc pentru curenți mari, de 100—300 A, atît în aer cît și în baie de ulei.

• **Controlerele indirecte (de comandă)** se construiesc, de obicei, în varianta de **controlere cu came,** similare constructiv comutatoarelor cu came, dar realizate într-o construcție mai solidă (fig. 4.19), pentru curenți pînă la 25—40 A.

N. APARATE PENTRU INSTALAȚII CASNICE ȘI SEMIINDUSTRIALE

Distingem *aparate de racord la rețea, aparate de conectare* și *aparate de protecție.*

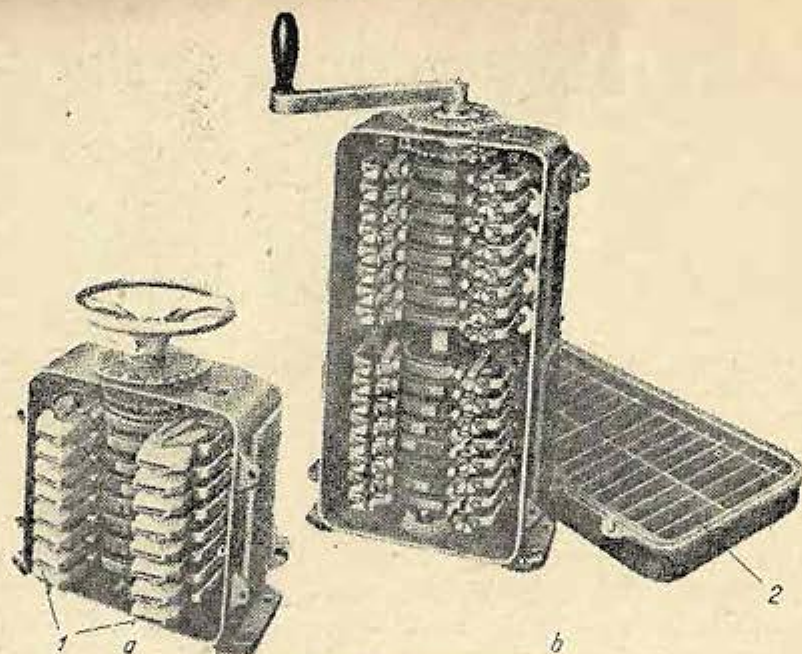


Fig. 4.19. Controlere cu came:
a — soluție cu camerele de stingere aplicate; *b* — soluție cu camerele de stingere încorporate; 1 — camere de stingere ceramice; 2 — capac cu camere de stingere.

1. Aparate de racord la rețea (prize, fișe, cuple)

• **Prizele** fac parte din instalația fixă, contactele lor fiind permanent sub tensiune. Pot fi *aparente* (pe tencuială), *îngropate* (pentru montare în doze, sub tencuială), *capsulate* (în siluminiu sau material plastic).

După numărul polilor, pot fi *bipolare, bipolare cu contact de protecție, tripolare cu contact de protecție, tripolare cu contact de protecție și contact de nul.*

Cele bipolare pot fi simple, duble și triple.

Prizele bipolare se execută pentru 10 și 16 A, cele tripolare — pentru 10, 16 și 25 A (fig. 4.20).

Sînt prevăzute cu teci de contact care, fie prin elasticitatea materialului, fie prin elemente arcuitoare auxiliare, asigură apăsarea necesară pe piciorușele fișelor.

• **Fișele,** conectate printr-un conductor flexibil la receptorul mobil, se introduc în prize pentru realizarea legăturii electrice.

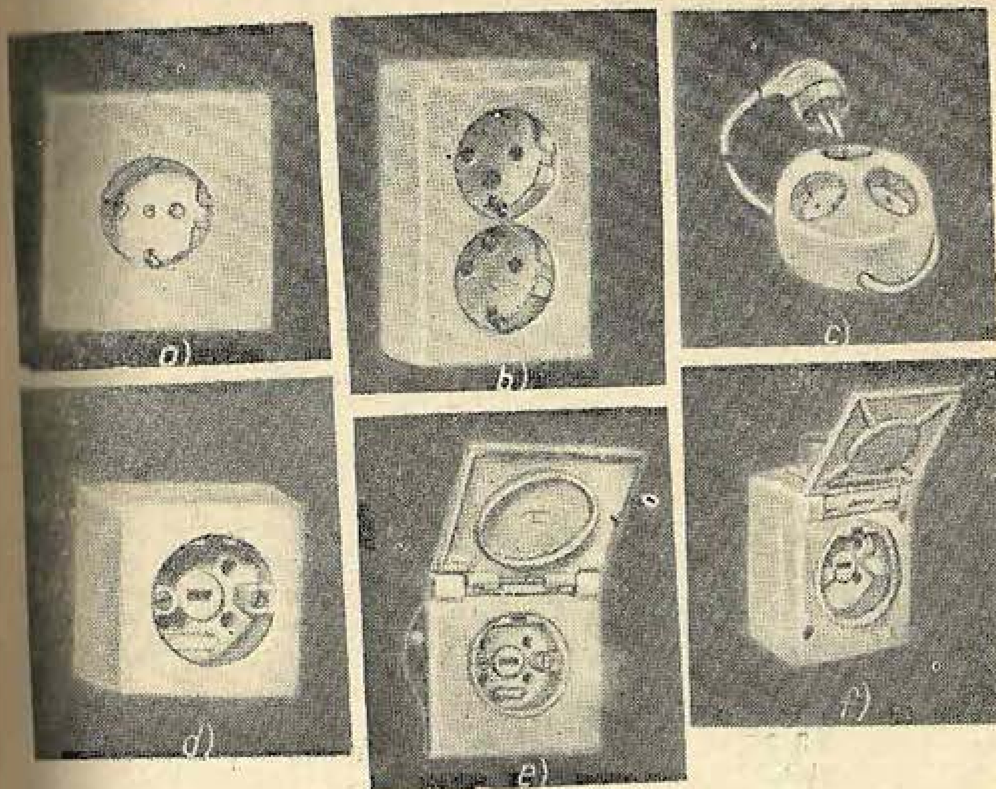


Fig. 4.20. Prize bipolare cu contact de protecție (*a, b, c*) **și tripolare cu contact de nul și de protecție** (*d, e, f*):
a — îngropată; *b* — dublă îngropată; *c* — triplă cu cordon; *d* — aparentă; *e* — etanșă îngropată; *f* — etanșă aparentă.

În cazurile în care solicitările termice nu sînt importante, se pot folosi fișe realizate prin presare din materiale termoplastice, împreună cu cordonul. Tipurile de fișe sînt aceleași cu ale prizelor, însă există și fișe de 6 A (fig. 4.21).

Cuplele sînt prize mobile, servind la realizarea prelungitoarelor care au o fișă la un capăt și o cuplă la celălalt (fig. 4.22).

Un tip special de cuplă este aparatul denumit priză pentru aparate electrocasnice (fig. 4.23) și care poate fi cu sau fără contact de protecție.

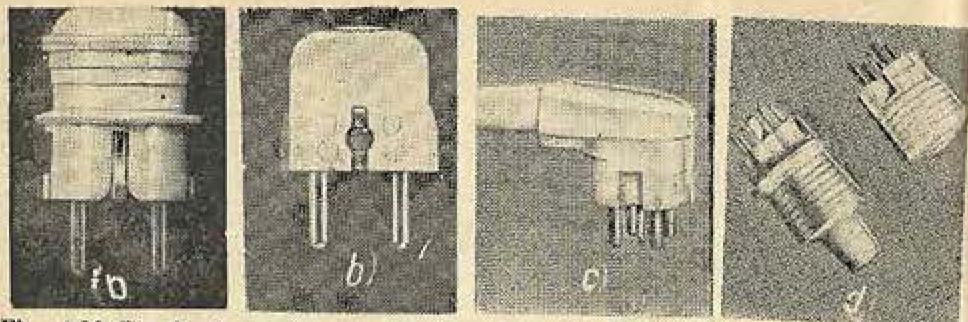


Fig. 4.21. Fișe bipolare cu contact de protecție (*a*, *b*) și tripolare cu contact de nul și de protecție (*c*, *d*)

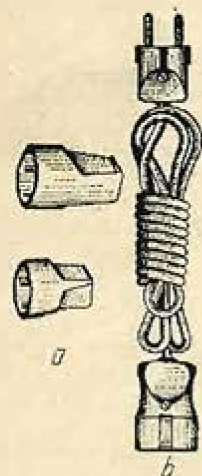


Fig. 4.22. Cuple și prelungitoare:
a — cuple;
b — prelungitor cu fișă și cuplă.

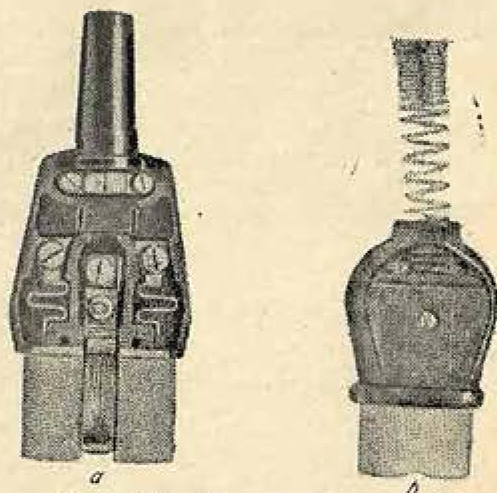


Fig. 4.23. Prize pentru aparate electrocasnice:
a — cu contact de protecție;
b — fără contact de protecție.

2. Aparate de conectare (întreruptoare și comutatoare)

Întreruptoarele și comutatoarele de instalații servesc îndeosebi pentru conectarea și deconectarea circuitelor de lumină.

Întreruptoarele moderne sînt de tip *cumpănă* (fig. 4.24) cu manevrare ușoară, funcționare liniștită, consum redus de materiale și longevitate mare (cca 250 mii conectări).

Cea mai modernă soluție o constituie însă întreruptoarele electronice, fără elemente mobile și fără contacte, sensibile la atingerea sau apropierea mîinii.

Variantele constructive sînt aceleași ca la prize.

Se construiesc pentru tensiunea nominală de 250 V și curent nominal de 10 A sau 16 A.

3. Aparate de protecție (siguranțe și întreruptoare automate)

Protecția împotriva scurtcircuitelor poate fi asigurată prin *siguranțe fuzibile* sau *întreruptoare automate de instalații*, iar protecția împotriva efectelor micșorării rezistenței de izolație — prin *întreruptoare automate de protecție împotriva curenților de defect* (IAPCD). Ele sînt tratate în capitolele 5 și 6.

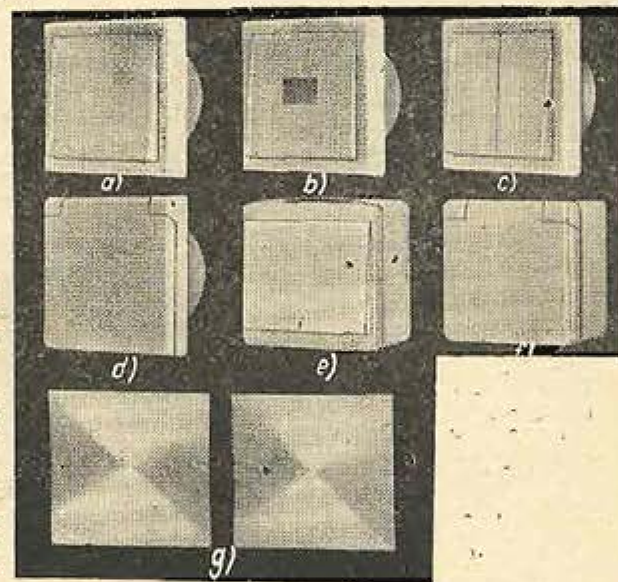


Fig. 4.24. Întreruptoare și comutatoare moderne de instalații, tip cumpănă și electronice:
a — întreruptor îngropat; *b* — întreruptor îngropat cu lampă de control; *c* — comutator îngropat; *d* — întreruptor îngropat etanș; *e* — întreruptor aparent; *f* — întreruptor aparent etanș; *g* — comutator electronic cu acționare prin atingere.

Verificarea cunoştinţelor

4.1. Ce avantaje prezintă comutatoarele cu came faţă de comutatoarele-pachet?
4.2. Realizaţi o schemă de comutator monopolar cu trei direcţii.
4.3. Ce măsuri de protecţie a muncii se iau în construcţia prizelor industriale?
4.4. Care sînt efectele conectării în stea a unui motor comandat de un comutator stea-triunghi?
4.5. În ce condiţii este necesară şi posibilă conectarea în stea-triunghi?
4.6. Explicaţi schema din figura 4.8.
4.7. Explicaţi funcţionarea unui autotransformator de pornire.
4.8. Care sînt avantajele folosirii controlerelor de comandă?
4.9. Cum sînt dimensionate reostatele de reglare faţă de cele de pornire şi de ce?
4.10. Ce tipuri constructive de prize cunoaşteţi?
4.11. Care sînt avantajele întreruptoarelor-cumpănă?

Capitolul 5
APARATE DE PROTECŢIE

Solicitările termice, electrice şi electrodinamice, la care sînt supuse aparatele electrice, sînt mult amplificate în situaţiile accidentale de suprasarcini, scurtcircuite şi supratensiuni.

A. SUPRACURENŢI

• **Curenţii de suprasarcină şi de scurtcircuit** (denumiţi *supracurenţi*), cu cauzele şi caracteristicile lor, sînt prezentaţi în tabelul 5.1.

La producerea unui scurtcircuit, variaţia curentului urmăreşte, de obicei, evoluţia în timp reprezentată în figura 5.1 în care se observă că valoarea curentului de scurtcircuit scade în cursul cîtorva alternanţe pînă la o valoare stabilizată I_d, *curentul de scurtcircuit de durată* (care se ia în consideraţie la *calculul încălzirii la scurtcircuit*).

Valoarea de vîrf a primei alternanţe I_s se numeşte *curent de scurtcircuit de şoc* şi se ia în consideraţie la *calculul forţelor electrodinamice*. El poate atinge valoarea maximă $I_s = 1{,}8\sqrt{2}\,I_d = 2{,}55\,I_d$.

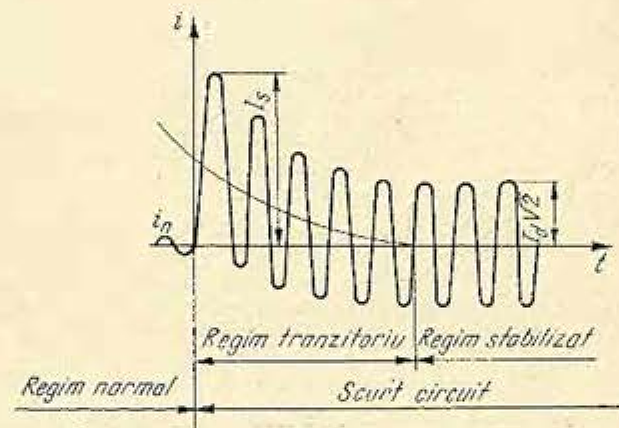


Fig. 5.1. Evoluţia în timp a curentului de scurtcircuit.

Supracurenţi

Tabelul 5.1

Clasificarea după durată	Condiţii în care apar supracurenţii		Valoarea	Durata	Metode de protecţie
1. *Tranzitorii* (de foarte scurtă durată)	Apar în condiţii normale de serviciu	• la punerea sub tensiune a transformatoarelor de putere	$6-10I_n$	0,05 *s*	În general, nu se iau măsuri speciale de protecţie
		• la punerea sub tensiune a bateriilor de condensatoare	$20-50I_n$	0,005 *s*	Punerea sub tensiune prin intermediul unei rezistenţe
		• la punerea sub tensiune a lămpilor cu filament de wolfram	$8-10\ I_n$	0,01 *s*	Se evită conectarea simultană a grupurilor de lămpi de putere mare
2. *De scurtă durată*	Apar în condiţii de defect grav în instalaţie (curenţi de scurtcircuit)	• deteriorări ale izolaţiei • ruperea unui conductor • deschiderea unui separator sub sarcină ş.a.	zeci de kA	Fracţiuni de secundă pînă la cîteva secunde, în funcţie de reglajul protecţiei	Folosirea de siguranţe fuzibile şi întreruptoare ultrarapide, precum şi relee rapide de protecţie care determină dezexcitarea generatorului şi deconectarea circuitului defect
	Apar în situaţii normale de serviciu	• la pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit	$5-7\ I_n$	3–15 s, în funcţie de sarcină	Folosirea de rotoare cu dublă colivie sau cu bare înalte, pornire stea-triunghi sau cu autotransformator de pornire, siguranţe fuzibile cu întîrziere

Tabelul 5.1. (continuare)

Clasificarea după durată	Condiţii în care apar supracurenţii		Valoarea	Durata	Metode de protecţie
3. *De lungă durată*	Apar în situaţii de exploatare incorectă sau defecte uşoare în instalaţie	• la suprasarcinarea motoarelor	$2,2-1,5\ I_n$	Zeci de minute	Folosirea de relee de suprasarcină cu bimetal
		• la funcţionarea motoarelor cu o fază întreruptă	$1,2-2\ I_n$	Zeci de minute	Folosirea de relee care sesizează funcţionarea cu o fază întreruptă

• **Protecţia împotriva curenţilor de scurtcircuit** se fac prin:

— *măsuri preventive*, ca: verificarea periodică a stării izolaţiei, instruirea temeinică a personalului pentru a se evita manevrele greşite, alegerea corectă a aparatelor;

— *măsuri de limitare a valorii curenţilor*, prin intercalarea în circuit a unor bobine de reactanţă;

— *măsuri de reducere a duratei scurtcircuitului*, prin folosirea siguranţelor fuzibile sau a întreruptoarelor automate.

B. SUPRATENSIUNI

Supratensiunile care pot apărea accidental în reţea, cauzele şi caracteristicile lor sînt prezentate în tabelul 5.2. Forma este vizibilă în figura 5.2.

Aparatele specifice de protecţie împotriva supratensiunilor sînt descrise în capitolul 8, fiind folosite mai mult pe liniile de înaltă tensiune.

C. RELEE ŞI DECLANŞATOARE

Releele sînt aparate de protecţie care, la depăşirea unei anumite valori a mărimii controlate, *închid sau întrerup un circuit electric de comandă* (de exemplu întrerup circuitul de alimentare a unui contactor) pe cînd **declanşatoarele** *comandă direct mecanismul de declanşare al unui întreruptor automat.*

Tabelul 5.2

Supratensiuni

Proveniența	Cauze	Durata	Amplitudinea	Frecvența	Metode de protecție
● *de origine atmosferică*	lovituri de trăsnet directe sau în vecinătatea liniei	zeci de µs	milioane de volți	undă de șoc	eclatoare, descărcătoare
● *de comutație*	întreruperi rapide ale curenților	cîteva milisecunde	$(2,3-3)U_n\sqrt{2}$	0,7–1 kHz	– dimensionare corectă a izolației – rezistențe neliniare la aparatele de întrerupere
● *de punere la pămînt*	punere accidentală a liniei la pămînt	cîteva secunde pînă la cîteva ore	$(1,2-1,73)U_n\sqrt{2}$	50 Hz	– dimensionarea corectă a izolației

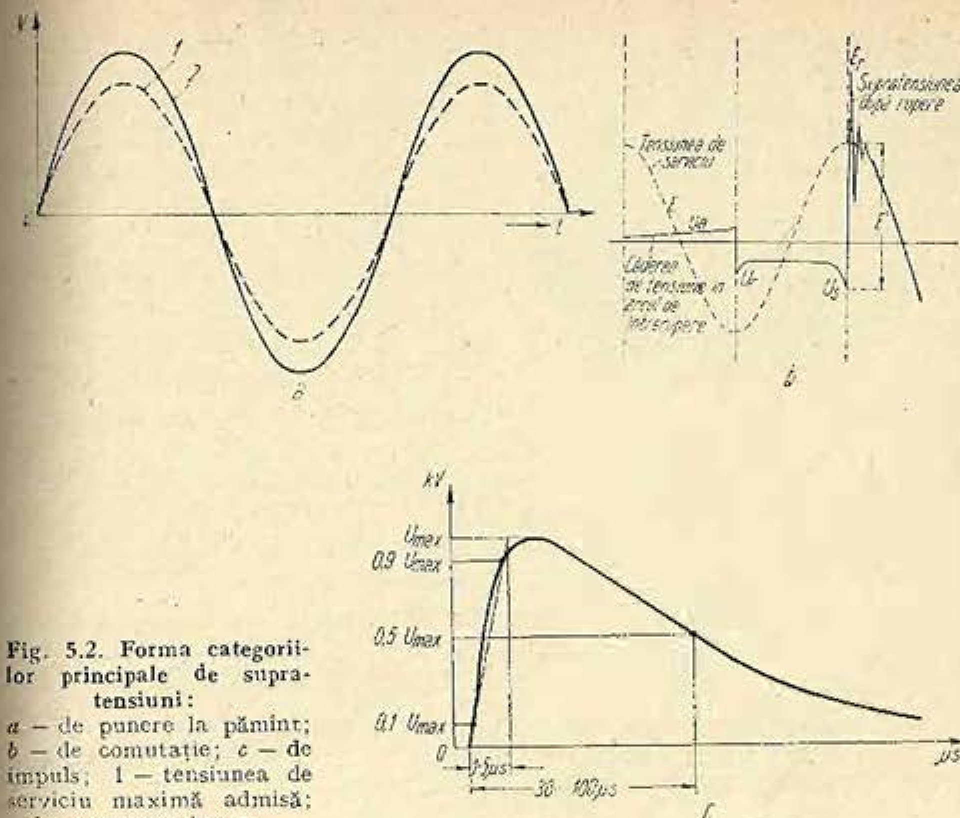


Fig. 5.2. Forma categoriilor principale de supratensiuni:
a – de punere la pămînt; *b* – de comutație; *c* – de impuls; 1 – tensiunea de serviciu maximă admisă; 2 – supratensiunea.

1. Relee termice

Pentru protecția împotriva suprasarcinilor mici $(1,2-6)\,I_n$, cum sînt cele provenite din supraîncărcarea motorului sau din rămînerea în două faze, se folosesc *relee sau declanșatoare termice*.

Releele termice se realizează, fie ca *unități distincte*, bi- sau tripolare (blocuri de relee), care se asociază unor contactoare de către constructor sau de către beneficiar, fie ca *elemente integrate* construcției unor contactoare cu relee monobloc.

În construcția întreruptoarelor automate găsim de obicei declanșatoare termice.

Construcțiile uzuale de relee termice merg pînă la curenți nominali de maximum 100 A, relee de curenți mai mari obținîndu-se prin folosirea unor șunturi sau a unor transformatoare.

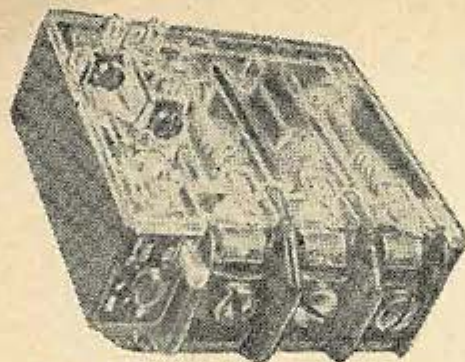


Fig. 5.3. Bloc de relee termice TSA 63.

Cea mai mare parte a releelor termice moderne se bazează pe utilizarea *termobimetalelor* sub formă lamelară, cu încălzire directă, indirectă sau mixtă (fig. 5.3).

Ele sînt dotate cu *dispozitive de protecție antibifazice*, care asigură o sensibilitate mai mare la sarcini asimetrice (rămînerea în două faze).

Astfel, la același supracurent, releul declanșează de două—trei ori mai repede dacă rămîne în două faze decît dacă funcționează toate trei.

De asemenea, cele mai multe sînt dotate cu *compensatoare de temperatură*, care le asigură o zonă de insensibilitate față de variațiile de temperatură ale mediului ambiant.

Standardele în vigoare impun următoarele **condiții** releelor termice destinate protecției motoarelor electrice:

— să nu declanșeze în timp de două ore la un curent egal cu 1,05 I_r (I_r fiind curentul reglat);

— să declanșeze în timp de două ore la un curent egal cu 1,2 I_r;

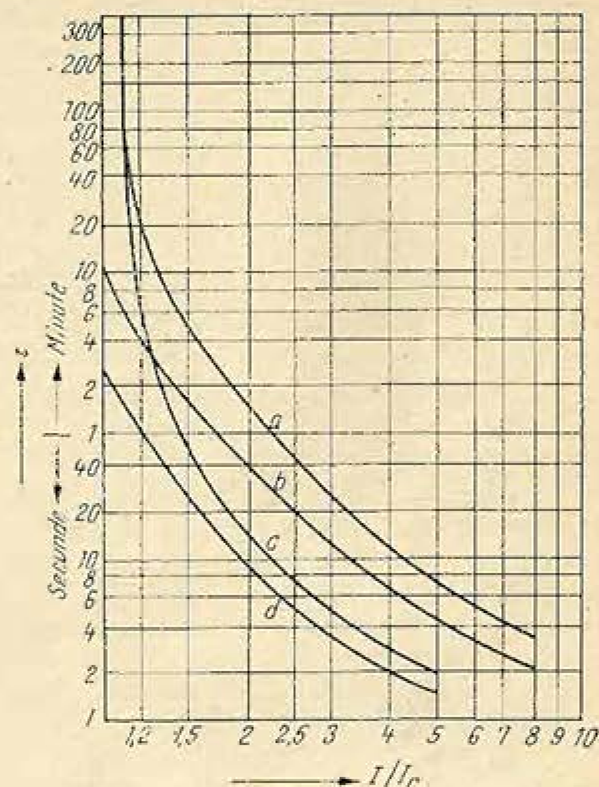
— să declanșeze la un curent egal cu 6 I_r, într-un timp > 2 s la releele pentru porniri ușoare și > 5s la releele pentru porniri grele.

Caracteristica de protecție este prezentată în figura 5.4.

○ **Observație.** Condiția de declanșare în cel mult două minute (pornind de la cald) la un curent egal cu 1,5 I_r, care apare în unele norme străine, nu mai este impusă de normele internaționale și de standardele românești. Este totuși util ca ea să fie respectată pentru a se pune de acord condițiile impuse releelor termice cu cele impuse motoarelor electrice.

În anumite situații cu porniri grele, regimuri intermitente etc., releele termice obișnuite nu mai reproduc cu suficientă fidelitate încălzirea motorului, putîndu-se ajunge fie la temperaturi periculoase ale înfășurărilor acestuia, fie la declanșări inutile. În aceste cazuri este recomandată introducerea unor *termistoare* — semiconductoare cu rezistență variabilă cu temperatura — direct în înfășurările motoarelor; cu ajutorul unui circuit electronic de comandă, schimbarea bruscă de rezistență a termistorului la depășirea temperaturii admise conduce la declanșarea conductorului din circuitul principal al motorului.

Fig. 5.4. Caracteristicile de protecție ale unui releu termic: *a* — funcționare trifazică simetrică din stare rece; *b* — funcționare bifazică asimetrică din stare rece; *c* — funcționare trifazică simetrică din stare caldă; *d* — funcționare bifazică asimetrică din stare caldă.



2. Declanșatoare electromagnetice

Pentru protecția împotriva scurtcircuitelor se folosesc *declanșatoare electromagnetice*. Acestea sînt electromagneți de tip deschis sau clapetă, la care bobina — străbătută de curentul principal sau de un curent proporțional cu acesta — este astfel dimensionată, încît armătura mobilă este atrasă numai la trecerea unui curent de cîteva ori mai mare decît cel nominal. Reglajul se face prin variația întrefierului sau a forței antagoniste.

De regulă, la întreruptoarele automate pentru protecția liniilor, declanșatorul electromagnetic este reglabil între 3 și 6 I_r, iar la întreruptoarele automate pentru protecția motoarelor este fie cu reglaj fix la 10 I_r, fie reglabil între 5 și 10 I_r, astfel încît să nu acționeze la curenții de pornire (care pot atinge 6—7 I_r).

3. Declanşatoare de tensiune minimă

În construcţia întreruptoarelor automate pentru protecţia motoarelor este obligatorie prezenţa unui *declanşator de tensiune minimă*, care deschide întreruptorul la dispariţia tensiunii sau la căderea ei sub o anumită valoare şi împiedică închiderea întreruptorului atît timp cît tensiunea nu a atins o valoare suficientă.

Rolul acestui declanşator este de a împiedica închiderea necontrolată a întreruptorului după o întrerupere mai îndelungată a tensiunii, care a dus la oprirea motorului şi a maşinii antrenate.

Reînchiderea necontrolată a circuitului poate provoca:

— pornirea directă, la tensiune plină, a motoarelor care trebuie pornite cu comutator stea-triunghi, reostat de pornire sau autotransformator, ceea ce duce la suprasolicitarea motorului şi a reţelei;

— pornirea neaşteptată a maşinii antrenate, putînd duce la distrugerea unor piese sau a unor părţi de maşină şi la accidentarea unor persoane.

○ **Observaţie.** În cazul în care motoarele sînt comandate de contactoare, acestea preiau şi rolul declanşatoarelor de tensiune minimă, cu condiţia ca butonul de pornire să fie de tipul contact normal deschis, astfel încît la revenirea tensiunii contactorului să nu reanclanşeze de la sine.

Condiţiile tehnice impuse declanşatoarelor de tensiune minimă de c.a. sînt aceleaşi cu cele impuse contactoarelor:

— să nu depăşească temperatura admisibilă la 1,05 U;

— să se închidă la 0,85 U în stare caldă;

— să se deschidă între 0,7 şi 0,35 U.

D. SIGURANŢE FUZIBILE

Siguranţele fuzibile sînt *cele mai simple aparate de protecţie împotriva scurtcircuitelor.* Ele cuprind, în principiu, elemente fuzibile, constînd dintr-un fir sau o bandă subţire de metal, cu secţiunea astfel aleasă încît dacă sînt străbătute de un curent mai mare decît cel admis de instalaţie să se topească, întrerupînd astfel circuitul protejat, în care sînt montate în serie.

Calităţile principale ale siguranţelor fuzibile sînt construcţia foarte simplă şi proprietatea de a întrerupe curenţii mari de scurtcircuit într-un timp foarte scurt, încă înainte ca aceştia să fi atins valoarea maximă posibilă (se realizează deci o *limitare a curenţilor de scurtcircuit* care

străbat instalaţia, reducîndu-se foarte mult solicitările termice şi dinamice la care aceasta este supusă:

Principalele dezavantaje ale siguranţelor fuzibile sînt:

— întreruperea instalaţiei, la arderea fuzibilului, pe un termen relativ lung, necesar înlocuirii acestuia;

— variaţia în limite foarte largi a timpului de topire, făcînd dificilă asigurarea selectivităţii (întreruperea liniei numai în punctul de alimentare cel mai apropiat de locul defectului);

— rămînerea motoarelor în două faze datorită topirii unei singure siguranţe dintre cele trei care protejează un circuit trifazic;

— eficienţa redusă la protecţia împotriva suprasarcinilor.

1. Tipuri constructive

Vom examina în continuare construcţia şi caracteristicile celor mai folosite tipuri constructive de siguranţe fuzibile.

• **Siguranţele în tub de sticlă** sînt utilizate la protecţia circuitelor de mică putere (curenţi pînă la A) (fig. 5.5).

• **Siguranţele cu mare putere de rupere** (fig. 5.6) au următoarele elemente componente:

— un înveliş izolant cu mare rezistivitate mecanică, executat fie dintr-un tub de porţelan, fie prin turnarea unui material plastic într-o formă ovoidală, fie prin asamblarea a două capace din material plastic de mare rezistenţă (poliester cu fibre de sticlă);

— una sau mai multe benzi subţiri perforate, din argint sau din cupru, înglobate într-o masă de nisip curăţat de toate impurităţile

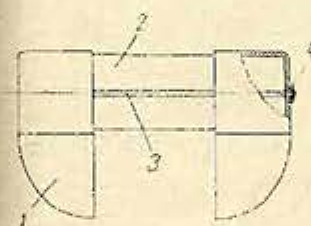


Fig. 5.5. Siguranţă în tub de sticlă:
1 — contact; 2 — tub de sticlă; 3 — fir fuzibil — ; 4 — lipitură.

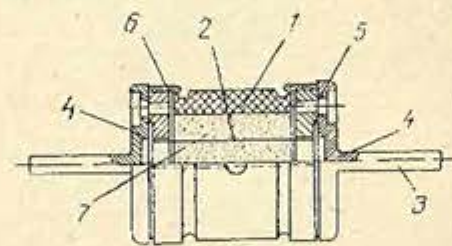


Fig. 5.6. Secţiune prin elementul de înlocuire al unei siguranţe de joasă tensiune cu mare putere de rupere:
1 — tub de porţelan; 2 — fir fuzibil; 3 — cuţit de contact; 4 — capac de închidere; 5 — inel de fixare; 6 — rondelă de azbest; 7 — nisip.

organice şi metalice, sortat la o anumită granulaţie şi perfect uscat. Benzile sînt sudate pe cuţitele siguranţei care fac legătura cu circuitul exterior.

Stingerea arcului în nisip are două efecte favorabile:

— condensarea vaporilor metalici pe granulele de nisip produce o puternică răcire şi deionizare a arcului electric, limitîndu-i valoarea, durata şi energia;

— conductibilitatea termică foarte bună a nisipului permite folosirea, la acelaşi curent nominal, a unor benzi cu secţiune mai mică decît în aer liber, reducîndu-se astfel cantitatea de vapori metalici produşi în timpul topirii.

2. Tipuri funcţionale

Din punct de vedere al caracteristicii de protecţie (timpul de topire funcţie de valoarea curentului), siguranţele se clasifică după două criterii:

- **după funcţiune**:

g — pentru protecţie pe întregul domeniu de curenţi;

a — pentru protecţia de la un multiplu al curentului nominal în sus;

- **după obiectul protejat.**

Cele mai uzuale siguranţe sînt cele cu caracteristicile gL (siguranţe normale sau rapide) pentru protecţia conductoarelor, aM (siguranţe lent-rapide) pentru protecţia motoarelor, aR şi gR (siguranţe ultrarapide) pentru protecţia semiconductoarelor (fig. 5.7).

Folosirea siguranţelor lent-rapide în circuitele motoarelor permite reducerea secţiunii conductoarelor de alimentare a motoarelor.

Pentru a se înţelege aceasta, se menţionează că siguranţele din circuitul unui motor trebuie astfel alese încît să nu se topească la curentul de pornire al acestuia, iar conductoarele de alimentare se aleg astfel încît să fie protejate de siguranţele respective. În cazul folosirii *siguranţelor normale*, aceasta duce, de regulă la necesitatea supradimensionării conductoarelor faţă de cele corespunzătoare din punct de vedere termic curentului nominal al motorului.

Folosirea *siguranţelor lent-rapide*, mai puţin sensibile la curenţii de pornire, permite evitarea acestei supradimensionări.

Siguranţele ultrarapide sînt neapărat necesare în circuitele redresoarelor cu siliciu, foarte sensibile la suprasarcini.

Obţinerea acestor caracteristici impune unele deosebiri în construcţia siguranţelor, respectiv în realizarea elementului fuzibil.

La siguranţele lent-rapide, pe banda fuzibilă se aplică o picătură de aliaj staniu-plumb, care formează cu argintul sau cuprul un aliaj uşor fuzibil (fig. 5.8).

La suprasarcini de lungă durată, lamela se topeşte în zona de acţiune a materialului de adaos, iar la scurtcircuite se topeşte în zonele de reducere a secţiunii.

Fuzibilul siguranţelor rapide este fie realizat dintr-un singur metal, fie tot de tipul celor pentru siguranţe lente, în vederea obţinerii unor încălziri generale mai reduse.

La siguranţele ultrarapide benzile perforate au punţile foarte înguste (fig. 5.9).

Siguranţele cu mare putere de rupere au capacităţi de rupere foarte mari, pînă la 100 kA curent virtual, şi un efect de limitare foarte puternic. Ele se fabrică în 5 mărimi, acoperind o gamă de curenţi nominali între 60 şi 1 000 A.

- **Siguranţele tubulare** sînt tot siguranţe cu mare putere de rupere, dar realizate într-o construcţie mai simplă şi cu gabarit redus.

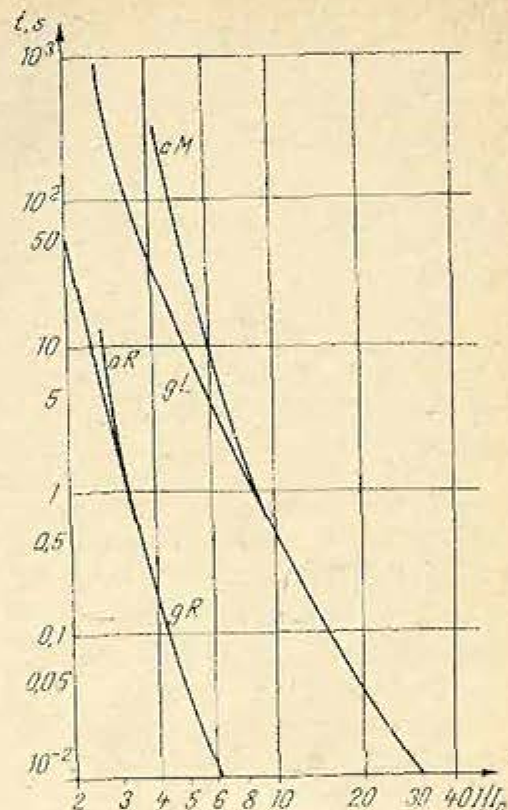


Fig. 5.7. Caracteristicile siguranţelor fuzibile.

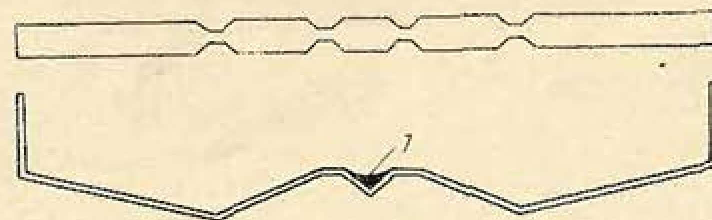


Fig. 5.8. Bandă fuzibilă pentru siguranţe lent-rapide:
1 — picătură de aliaj uşor fuzibil.

În general nu folosesc cuțite, legătura cu circuitul exterior făcîndu-se chiar prin intermediul capacelor de închidere a tubului ceramic protector (fig. 5.10).

• **Siguranțele cu filet** sînt folosite în instalațiile casnice și semiindustriale, dar și în cele industriale, pentru intensități nominale pînă la 200 A.

Sînt formate din patru elemente (fig. 5.11):

— *soclul de porțelan 1*, prevăzut cu bornele de legare la circuitul exterior;

— *elementul de înlocuire* (patronul fuzibil) *3*, alcătuit dintr-un tub de porțelan de o anumită formă, umplut cu nisip și închis la capete cu capace de contact. Firele fuzibile sînt întinse în masa de nisip între capacele de contact (fig. 5.12);

— *piesele de contact*, cu diametrul interior calibrat, avînd rolul de a împiedica introducerea unor elemente de înlocuire de valoare nominală mai mare (care nu ar putea asigura o protecție corectă);

— *capacul filetat 1* — cu rolul de a închide elementul de înlocuire, realizînd totodată presiunea de contact necesară.

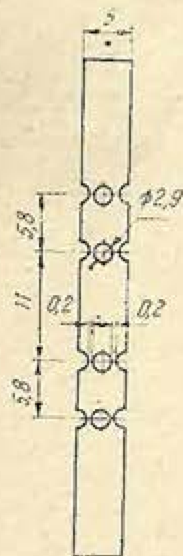


Fig. 5.9. Fuzibil pentru siguranță ultrarapidă de 32 A.

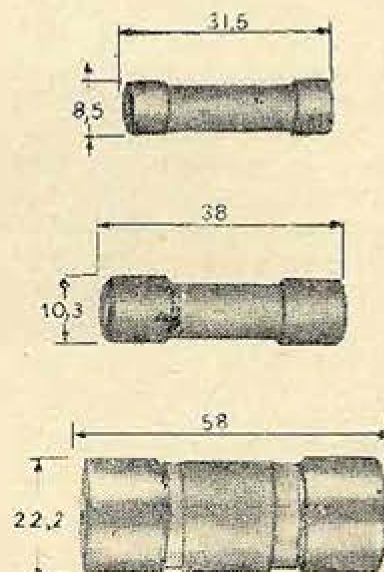


Fig. 5.10. Siguranțe tubulare: a — $I_n = 20$ A; $I_r = 20$ kA; b — $I_n = 32$ A; $I_r = 80$ kA; c — $I_n = 125$ A; $I_r = 100$ kA.

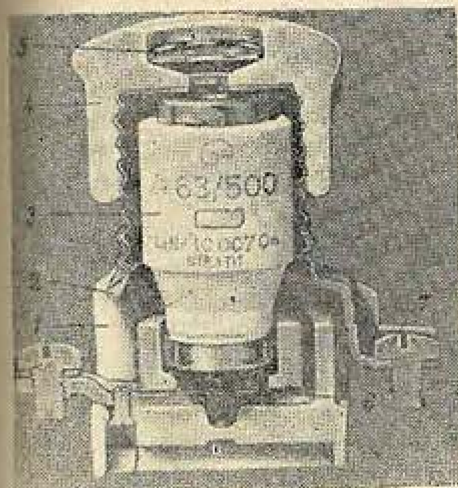


Fig. 5.11. Siguranță cu filet: 1 — soclu; 2 — teacă filetată; 3 — elementul de înlocuire; 4 — capac filetat; 5 — semnalizator; 6 — piesă de contact; 7 — borne.

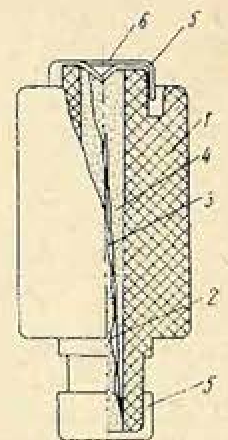


Fig. 5.12. Secțiune prin elementul de înlocuire al unei siguranțe fuzibile cu filet: 1 — corp de porțelan; 2 — fir fuzibil; 3 — firul indicatorului de funcționare; 4 — nisip fin; 5 — capace de contact; 6 — indicator de funcționare.

Acest tip de siguranțe se fabrică pentru curenții nominali de 25, 63, 100 și, mai rar, 200 A. Scara curenților nominali ai elementelor de înlocuire fuzibile este însă mult mai bogată: 6, 10, 15, 20, 25, 35, 40, 63, 80, 100, 125, 160 și 200 A.

Ele au capacitatea mare de rupere de 5—8 kA.

3. Reguli de exploatare

În exploatarea siguranțelor fuzibile trebuie să se țină seamă de cîteva probleme:

— mărimea siguranței trebuie aleasă corect în funcție de secțiunea conductorului protejat;

— trebuie interzisă înlocuirea fuzibilelor arse cu fire de cupru necalibrate și în special trecerea firului de cupru pe deasupra elementului de înlocuire;

— la montarea siguranțelor toate legăturile de contact să fie bine strînse și să se verifice periodic menținerea forței de apăsare pe contacte;

— siguranțele să fie așezate în partea de sus a panourilor, astfel încît căldura degajată de ele să nu afecteze alte elemente ale instalației;

— introducerea în furci a siguranțelor cu mare putere de rupere trebuie făcută cu mănuși de protecție, și cu fața apărată, ținînd seama că este posibil să existe un scurtcircuit pe linie, iar siguranța să explodeze.

Verificarea cunoștințelor

5.1. Ce tipuri constructive de relee termice cunoașteți?
5.2. Care sînt condițiile tehnice impuse unui releu termic pentru protecția motoarelor?
5.3. Ce proprietate au termistoarele?
5.4. Ce deosebire este între un declanșator și un releu?
5.5. Ce protecție asigură un declanșator de tensiune minimă?
5.6. Ce condiții tehnice se impun unui declanșator de tensiune minimă?
5.7. Ce avantaje și ce dezavantaje prezintă siguranțele fuzibile?
5.8. Care sînt efectele favorabile ale nisipului în siguranțele fuzibile?
5.9. Ce avantaje prezintă folosirea siguranțelor lent-rapide în circuitele motoarelor electrice?
5.10. Ce principii constructive se folosesc la realizarea siguranțelor rapide?
5.11. Ce precauții trebuie luate la montarea siguranțelor fuzibile?
5.12. Ce se înțelege prin protecție antibifazică?

Capitolul 6

APARATE PENTRU COMANDĂ AUTOMATĂ

Cuprindem în această grupă *aparate care pot fi comandate de la distanță sau de către un releu de protecție:*

— *contactoare și ruptoare;*
— *contactoare cu relee;*
— *întreruptoare automate (avînd în principal rol de protecție).*

A. CONTACTOARE ȘI RUPTOARE

1. Principiul de funcționare

Contactorul este *un aparat de comutație cu acționare mecanică, electromagnetică sau pneumatică, cu o singură poziție stabilă, capabil de a stabili, suporta și întrerupe curenții în condiții normale de exploatare ale unui circuit, inclusiv curenții de suprasarcină.*

Figura 6.1, *a* ilustrează funcționarea unui contactor electromagnetic: la închiderea circuitului de alimentare a bobinei *3* a electro-

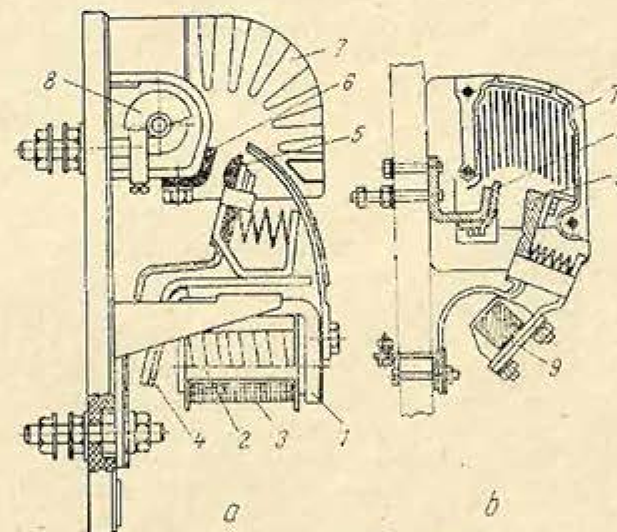


Fig. 6.1. Contactoare cu mișcare de rotație:

a — de curent continuu; *b* — de curent alternativ; *1* — armătură fixă; *2* — miez fix; *3* — bobină; *4* — armătură mobilă; *5* — contact mobil; *6* — contact fix; *7* — cameră de stingere; *8* — bobină de suflaj; *9* — ax.

magnetului, armătura mobilă *4* este atrasă și circuitul principal se închide prin deplasarea contactului mobil *5*, care este solidar cu armătura mobilă; contactele rămîn închise numai atît timp cît bobina electromagnetului se află sub tensiune: în momentul în care se întrerupe alimentarea bobinei electromagnetului, circuitul principal se deschide din nou, contactul mobil revenind în poziția de repaus prin acțiunea greutății proprii sau a unui resort antagonist.

○ **Observație.** Din punct de vedere constructiv, contactoarele și ruptoarele se aseamănă foarte mult între ele, dar la contactoare, poziția de repaus corespunde situației cu circuitul principal deschis, în timp ce la ruptoare poziția de repaus corespunde situației cu circuitul principal închis, electromagnetul intervenind în sensul deschiderii circuitului.

2. Tipuri constructive și mărimi caracteristice

• **După felul curentului din circuitul principal** (circuitul comandat), contactoarele și ruptoarele pot fi *de curent continuu* sau *de curent alternativ*.

În mod normal, contactoarele se construiesc pentru tensiuni pînă la 440 V în curent continuu și 380 sau 660 V în curent alternativ și intensități nominale cuprinse între 6 și 600 A.

• **După modul de acționare a contactelor mobile,** contactoarele și ruptoarele pot fi:

— *cu acționare prin electromagneți* (de curent continuu sau de curent alternativ, indiferent de felul curentului din circuitul principal). Aceasta este soluția cea mai frecvent folosită, ea prezentînd o serie de avantaje (posibilități largi de comandă la distanță, comandă ușoară și rapidă prin butoane sau relee, putere de rupere suficient de mare);

— *cu aer comprimat,* îndeosebi la contactoarele de curent continuu pentru curenți mari (tracțiune electrică), unde este necesară separarea rapidă a contactelor;

— *cu acționare mecanică,* prin arbori cu came; metoda este utilizată rar și numai la intensități mici, deoarece puterea de rupere este mică, viteza de separare a contactelor fiind redusă.

• **După numărul de poli,** se deosebesc contactoare și ruptoare *monopolare, bipolare, tripolare* (cele mai frecvent folosite) și *tetrapolare.*

• **După modul de deplasare a contactelor mobile,** se deosebesc:

— *contactoare cu mișcare de rotație* (cu o singură întrerupere pe fază) (fig. 6.1);

— *contactoare cu mișcare de translație* (cu două întreruperi pe fază) (fig. 6.2).

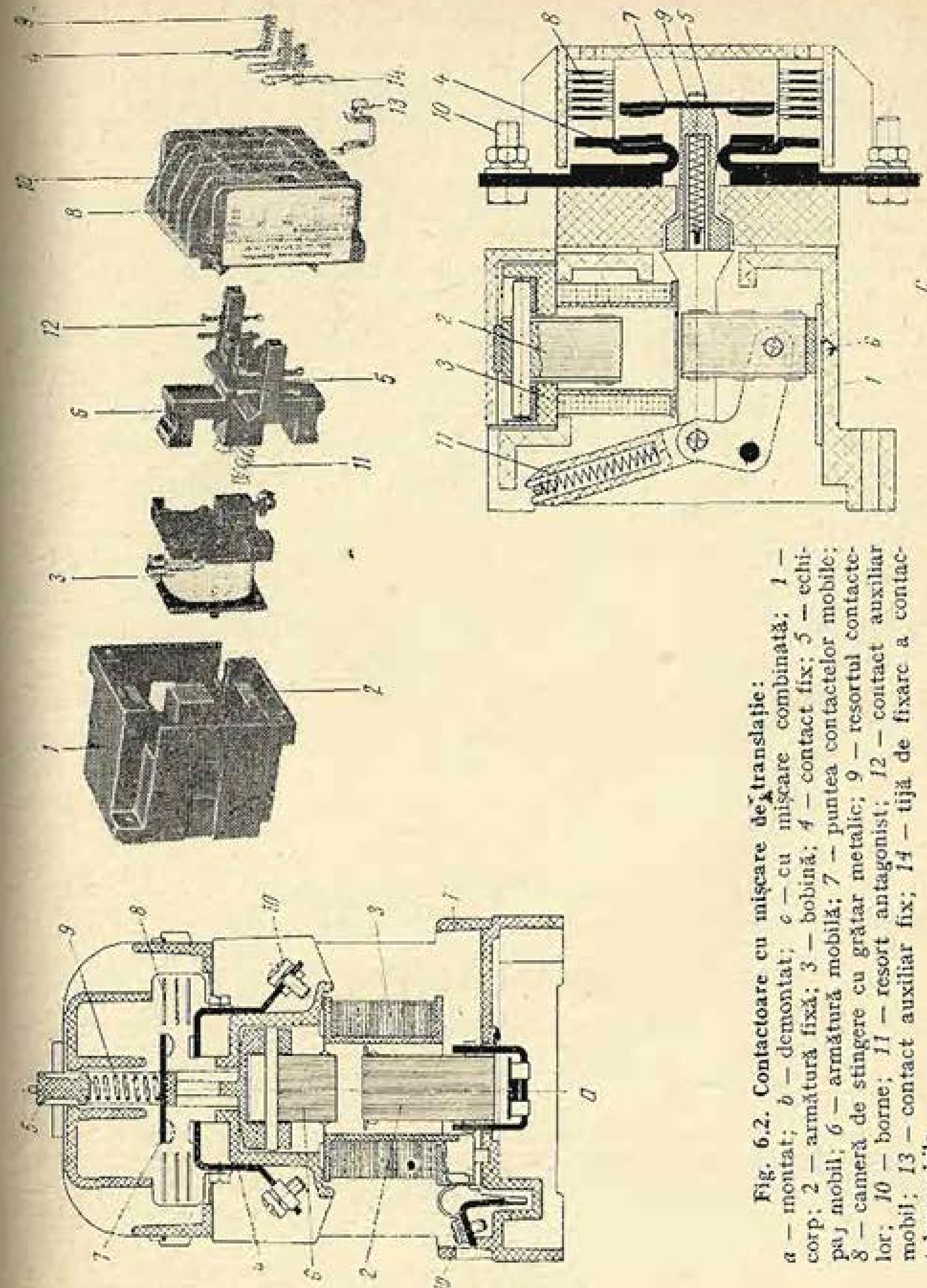


Fig. 6.2. Contactoare cu mișcare de translație:
a — montat; *b* — demontat; *c* — cu mișcare combinată; *1* — corp; *2* — armătură fixă; *3* — bobină; *4* — contact fix; *5* — echipaj mobil; *6* — armătură mobilă; *7* — puntea contactelor mobile; *8* — cameră de stingere cu grătar metalic; *9* — resortul contactelor; *10* — borne; *11* — resort antagonist; *12* — contact auxiliar mobil; *13* — contact auxiliar fix; *14* — tijă de fixare a contactelor mobile.

Contactoarele cu mișcare de rotație sînt mai robuste la solicitări prin vibrații, au o putere de rupere relativ mare (comportîndu-se mai bine la utilizarea în curent continuu) și se pot realiza cu ușurință în diferite variante constructive (cu număr variabil de poli sau de contacte auxiliare).

Acest tip constructiv se folosește pentru contactoare de curent continuu, contactoare cu compoziție variabilă, contactoare de regim greu (cu solicitări deosebite de mediu, vibrații și șocuri), contactoare pentru întreruperea curenților capacitivi.

Contactoarele cu mișcare de translație prezintă avantajul unui gabarit redus, ceea ce este favorabil realizării de panouri compacte; se pretează mai bine unei mecanizări avansate a fabricației și a montajului; au o durată mecanică de serviciu mare și un cost mai redus. Ele reprezintă o soluție practic generalizată la contactoarele de curent alternativ pînă la 400 A.

O variantă a acestui tip constructiv o constituie *contactoarele cu mișcare combinată*, la care direcția de deplasare a contactelor mobile este perpendiculară pe direcția de deplasare a armăturii mobile a electromagnetului. Această construcție, folosită și la noi pentru unele contactoare de peste 100 A, prezintă avantajul că reduce vibrația contactoarelor, asigurînd o rezistență mărită la uzura sub sarcină (fig. 6.2, *c*).

3. Probleme de exploatare

Domeniul de utilizare al contactoarelor fiind foarte larg și în continuă extindere, cuprinde situații foarte diferite în ceea ce privește natura circuitului comandat și solicitările pe care acesta le impune contactorului.

Normele internaționale definesc, *pentru contactoarele de curent alternativ, patru categorii tipice de regim de lucru* (fig. 6.3):

AC1 — corespunzător sarcinilor pur rezistive (cuptoare, de exemplu);

AC2 — corespunzător motoarelor cu inele;

AC3 — corespunzător motoarelor cu rotorul în scurtcircuit;

AC4 — corespunzător regimului de lucru cu șocuri și inversări de sens a motoarelor cu rotorul în scurtcircuit.

Similar, sînt *cinci categorii standardizate pentru contactoarele de curent continuu* (DC1—DC5) și *două categorii pentru contactoarele de comandă și contactele auxiliare* (AC11 și DC11).

Durata de serviciu se exprimă prin *rezistența la uzură mecanică*, care este la contactoarele moderne de 5—10 milioane manevre, și prin *rezistența la uzură sub sarcină*, care în regim AC 3 este de ordinul a 500 mii pînă la un milion conectări.

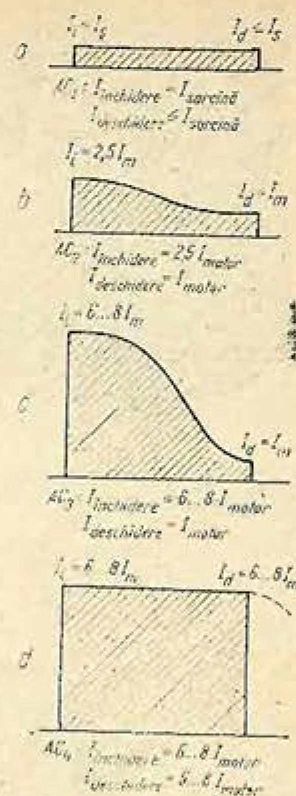


Fig. 6.3. Reprezentarea grafică a condițiilor de lucru ale contactoarelor la diferite categorii de regim de lucru.

B. COMBINAȚII DE CONTACTOARE CU RELEE

• Cea mai uzuală combinație este contactorul cu relee termice, denumit și **demaror magnetic**, realizat uzual atît în execuție deschisă, cît și închisă (fig. 6.4 și 6.5).

Pentru protecția împotriva curenților de scurtcircuit, în amontele contactorului cu relee termice trebuie montat un întreruptor automat sau siguranțe fuzibile adecvate.

Se folosesc de asemenea inversoare de sens automate cu două contactoare interblocate între ele electric și mecanic (cînd unul este închis, celălalt nu se poate închide) (fig. 6.6).

• **Comutatoarele automate stea-triunghi** sînt formate din trei contactoare (rețea, stea și triunghi), un bloc de relee termice de protecție și un releu de timp cu care se poate regla timpul de la pornire pînă la trecerea de la conexiunea stea la conexiunea triunghi.

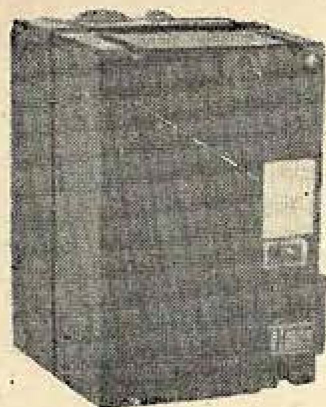


Fig. 6.4. Contactor cu relee termice de 40 A

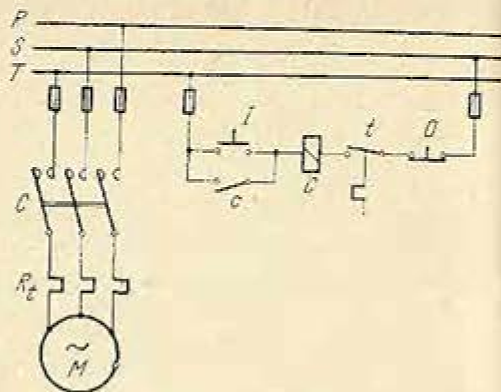


Fig. 6.5. Schema de conexiuni a unui contactor cu relee termice:

C — contactor; R_t — bloc cu relee termice; *t* — contact de întrerupere; *C* — bobina de acționare a contactorului; *c* — contact de autoreținere; *I* — buton de comandă a închiderii; *O* — buton de comandă a deschiderii.

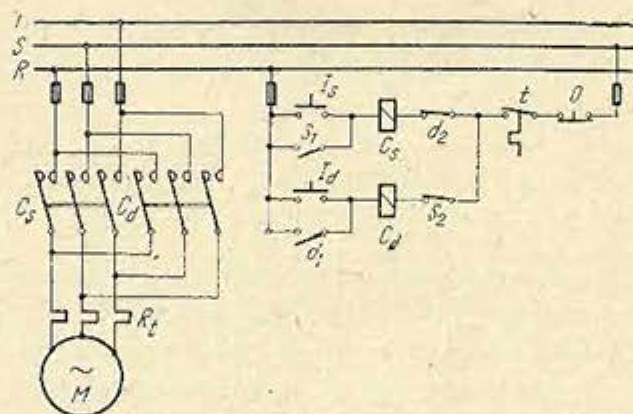


Fig. 6.6. Schema de conexiuni a unui inversor de sens.

1. Principiul de funcționare

Spre deosebire de contactoare, întreruptoarele automate se caracterizează prin faptul că, odată închise contactele principale, ele sînt menținute în poziția „închis" cu ajutorul unui zăvor mecanic numit „broască"; acesta blochează contactele mobile la sfîrșitul cursei de închidere și le menține în această poziție un timp oricît de lung, *fără vreun consum suplimentar de energie.* La comanda voită a unui operator sau la comanda automată a unui releu de protecție, se îndepărtează zăvorul mecanic, eliberind contactele mobile, care se deschid cu mare viteză sub acțiunea unor resorturi puternice.

• **Închiderea întreruptoarelor automate** se poate realiza prin diferite *metode*, ca:

— apăsare — de către un operator — a unui buton de închidere, metodă folosită la aparatele de curenți nominali mici (v. fig. 6.9, *a*);

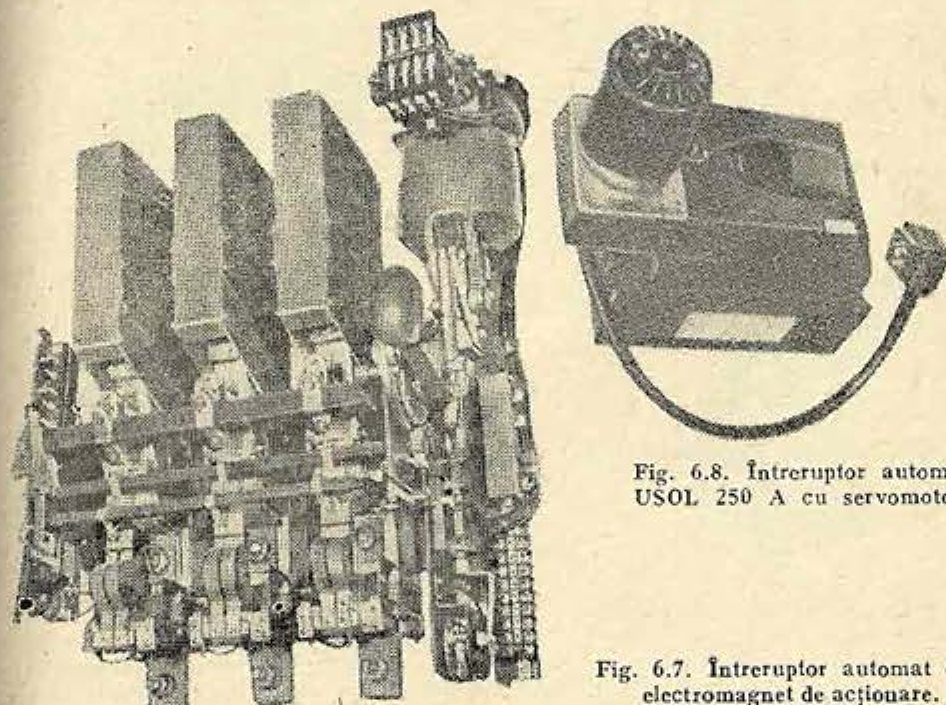


Fig. 6.8. Întreruptor automat USOL 250 A cu servomotor.

Fig. 6.7. Întreruptor automat cu electromagnet de acționare.

— acționarea unei manete (fig. 6.9, b, 6.9, c, 6.9, d);
— folosirea unui electromagnet de acționare (fig. 6.7) sau a unui servomotor (fig. 6.8);

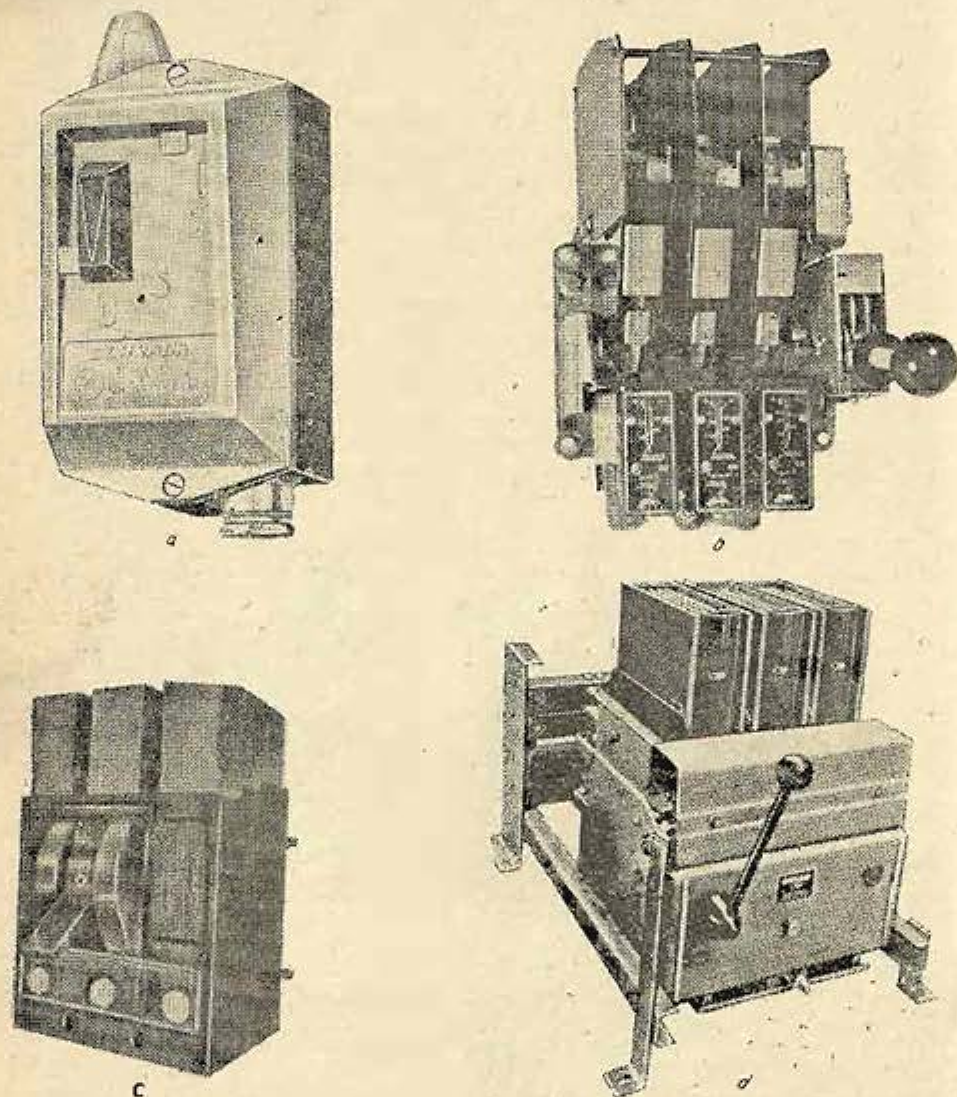


Fig. 6.9. Întreruptoare automate de joasă tensiune — tipuri constructive:
a — întreruptor tripolar cu acționare prin buton; b — întreruptor tripolar în execuție deschisă; c — întreruptor automat capsulat în carcasă izolantă; d — întreruptor automat limitator.

— folosirea unui dispozitiv de acționare cu acumulare de energie în resort.

• **Avantaje.** Principiul menținerii în poziția „închis" prin intermediul unui mecanism cu zăvor permite:

— posibilitatea obținerii unor capacități de rupere mari, prin folosirea unor resorturi de declanșare puternice. Viteza mare de deschidere, completată cu utilizarea unor dispozitive de suflaj magnetic și a unor camere de stingere bine studiate, permite realizarea unor capacități de rupere de ordinul a 5—80 kA și, ca urmare, folosirea întreruptoarelor automate ca aparate de bază pentru protecția la scurtcircuite (nemaifiind nevoie de siguranțe fuzibile);

— insensibilitate la variațiile de tensiune ale rețelei, întreruptorul rămînînd închis chiar dacă tensiunea dispare complet;

— economie de energie;

— posibilitatea de a se dimensiona electromagnetul mai economic; — în cazul acționării prin electromagnet — dat fiind faptul că el se află sub tensiune numai o fracțiune de secundă, cît se produce închiderea;

— rezistență mult mai mare la solicitări prin vibrații și șocuri mecanice.

• **Dezavantaje.** Folosirea zăvorîrii mecanice are însă și dezavantaje, cele mai importante fiind:

— frecvența de conectare permisă este foarte mică (cel mult cîteva zeci de manevre pe zi), durata de serviciu fiind de ordinul zecilor de mii de acționări;

— aparatul are o construcție complicată, fiind în consecință și relativ scump.

2. Tipuri și caracteristici constructive

Dată fiind varietatea mare a domeniilor de utilizare, se întîlnește și o mare varietate a tipurilor constructive de întreruptoare automate. Se pot distinge totuși cîteva categorii principale de astfel de aparate.

• **Întreruptoarele automate de instalații** sînt dotate cu declanșatoare termice și electromagnetice pentru protecția împotriva suprasarcinilor și scurtcircuitelor. În raport cu siguranțele fuzibile, ele prezintă numeroase **avantaje**:

— posibilitatea de restabilire imediată a curentului fără a se pierde timpul necesar găsirii și montării unui element de înlocuire nou în locul celui ars;

— nu mai este necesar un stoc de elemente de rezervă și, îndeosebi, se evită pericolul pe care îl prezintă pentru securitatea locuințelor și a instalațiilor, înlocuirea fuzibilelor arse prin fuzibile improvizate din fire groase de cupru;

— se poate obține și o protecție eficace împotriva suprasarcinilor, lucru practic irealizabil cu siguranțele fuzibile rapide;

— se poate regla la fața locului curentul de declanșare a automatului în funcție de curentul real de serviciu al instalației, ceea ce îmbunătățește mult eficacitatea și operativitatea protecției.

Desigur însă că ele sînt mai scumpe decît siguranțele.

Se deosebesc diferite tipuri constructive: cu prindere pe șină, cu placă frontală, cu filet Edison pentru înșurubare în soclurile de siguranță de pe tablourile existente (numite și siguranțe automate) (fig. 6.10).

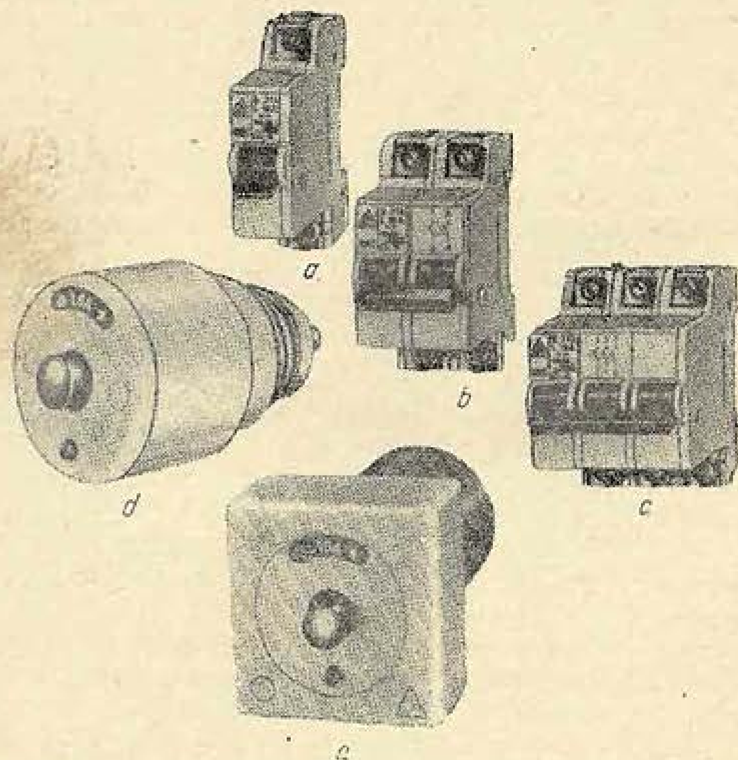


Fig. 6.10. Întreruptoare automate de instalații — diferite tipuri constructive: *a, b, c* — cu prindere pe șină; *d* — cu filet Edison; *e* — cu placă frontală.

• **Întreruptoarele automate tripolare comandate prin buton** (fig.6.9, *a*) se execută pentru intensități nominale pînă la 40 A.

• **Întreruptoarele automate în construcție deschisă,** de tipul celor reprezentate în figurile 6.7 și 6.9,*b*, se construiesc pentru curenți nominali medii și mari, sînt comandate atît manual cît și cu electromagneți sau servomotoare și sînt folosite îndeosebi pentru protecția circuitelor principale ale alimentărilor cu energie din industrie (se montează totdeauna în celule sau panouri).

• **Întreruptoarele automate compacte,** în carcasă de masă plastică fenolică de tipul celor reprezentate în figurile 6.8 și 6.9, *c*, se construiesc pentru curenți nominali de ordinul sutelor de amperi; ele sînt folosite pentru protecția circuitelor electrice din instalațiile industriale, unde se impun dimensiuni reduse ale panourilor.

• **Întreruptoarele automate limitatoare** (fig. 6.9, *d*) se construiesc pentru instalații de ordinul sutelor de amperi și capacități de rupere pînă la 100 kA virtuali. Ele limitează valoarea curentului de scurtcircuit apărut în instalație, reducînd mult solicitările termice și electrodinamice la care este supusă instalația în acest caz (de aici le vine și numele de „întreruptoare limitatoare"). Pot fi acționate manual sau cu servomotor.

• **Tipuri de aparate mai deosebite** sînt:

— *întreruptoarele automate rapide de curent continuu,* dotate cu relee sensibile la panta curentului de scurtcircuit, în vederea asigurării unei protecții cît mai eficiente a redresoarelor;

— *întreruptoarele automate pentru protecția împotriva curenților de defect,* care sesizează diferența între valorile curenților de pe conductorul de fază și de nul, diferență care dovedește apariția unei scurgeri de curent la masă *(curent de defect)* și deci a unei slăbiri a izolației. Producînd întreruperea imediată a circuitului atunci cînd curentul de defect a trecut de un anumit nivel, ele protejează foarte eficient împotriva pericolului electrocutării și incendiilor (fig. 6.11).

Întreruptoarele automate diferă, de asemenea, prin modul de acționare și prin gradul de echipare cu dispozitive accesorii, cum sînt: contacte de semnalizare, dispozitive de declanșare de la distanță, declanșatoare de tensiune minimă, dispozitive de temporizare a declanșării prin relee etc.

În prezent, practic, *toate întreruptoarele automate de joasă tensiune se execută ca aparate de întrerupere în aer.*

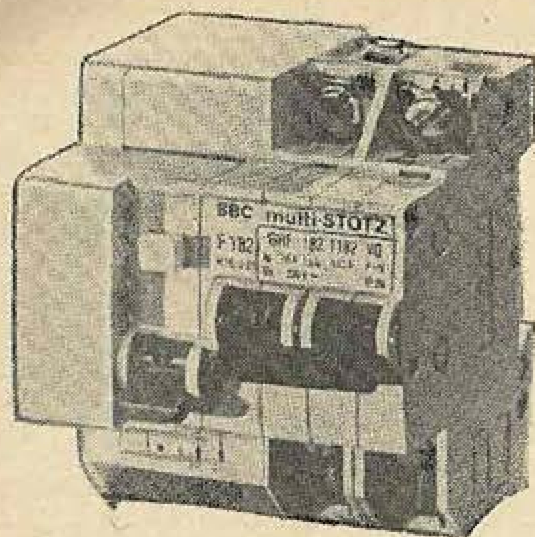


Fig. 6.11. Întreruptor automat pentru protecția împotriva curenților de defect (IAPCD).

Oricare ar fi varianta constructivă, un întreruptor automat este constituit din următoarele **elemente componente**:

— *circuitul principal de curent*, format din: contacte principale, contacte de rupere (bobină de suflaj magnetic), coarne de suflaj și borne de racord la circuitul exterior, realizate din profile de cupru.

Pastilele de contact se execută din materiale sinterizate (argint cu wolfram). La întreruptoarele mari se folosesc două categorii de contacte pe pol: contacte principale, care se execută din argint, și contacte de rupere, care se execută din argint-wolfram cu peste 50% W, argint-grafit și altele;

— *camerele de stingere a arcului electric*, executate din materiale rezistente la acțiunea arcului electric;

— *piese izolante pentru susținerea căilor de curent și separarea fazelor*, realizate de obicei prin presare din rășini fenolice;

— *mecanismul de acționare și zăvorîre*, realizat din table și profile de oțel tratate în mod special pentru a face față uzurilor și solicitărilor;

— *cutia aparatului*, executată din tablă de oțel la aparatele mari și din rășini fenolice la aparatele mici și întreruptoarele tip „compact".

— *elementele de protecție:* declanșatoare termice, declanșatoare electromagnetice instantanee sau temporizate, iar la întreruptoarele automate folosite pentru protecția motoarelor — și declanșatoare de tensiune minimă;

— *elemente accesorii:* bobine de declanșare, transformatoare de curent, contacte auxiliare etc.

D. APARATE ANTIGRIZUTOASE ȘI ANTIEXPLOZIVE

Electrificarea exploatărilor miniere a impus folosire în subteran a tuturor tipurilor de aparate electrice de joasă tensiune. Pentru a se evita pericolul de explozie, a fost necesar ca toate aceste aparate să fie închise cu carcase suficient de rezistente pentru a suporta explozia gazului din interior și să fie astfel construite încît să nu transmită explozia la exterior (v. capitolul 2, par. D 2). Deoarece gazul exploziv din minele de cărbuni se numește „grizu", aparatele folosite în minele de cărbuni se numesc *antigrizutoase*. Ele sînt însă numai un caz particular al unei categorii mai mari, aparatele *antiexplozive*.

Aceste aparate, al căror principiu de construcție este același, se construiesc în diferite variante, în funcție de locul unde sînt folosite și de natura gazului exploziv care poate apărea în acel loc.

Ele sînt necesare în industria chimică, în exploatările petroliere, în rafinării etc.

E. MĂSURI DE PROTECȚIE A MUNCII ÎN CONSTRUCȚIA ȘI EXPLOATAREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Concepția constructivă a aparatelor electrice trebuie să asigure o deplină securitate a operatorilor.

1. Măsuri privind construcția aparatelor

Măsurile constructive care se iau se împart în mai multe categorii.

— *Protecția împotriva electrocutării prin asigurarea izolației*, atît a pieselor de manevră, cît și a celorlalte piese metalice cu care operatorul poate veni accidental în contact. Piesele de manevră trebuie să fie din material izolant sau îmbrăcate în material izolant, iar piesa metalică pe care acționează piesa de manevră trebuie să fie izolată față de părțile sub tensiune, respectîndu-se distanțele de străpungere și conturnare stabilite de norme. Cadrul metalic al aparatului trebuie să fie prevăzut cu șurub de punere la pămînt, iar zona din jurul șurubului trebuie să fie cositorită și să rămînă nevopsită pentru a se asigura un

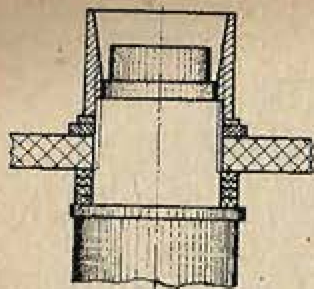


Fig. 6.12. Buton cu inel de protecție.

contact electric bun al conductorului de legare la pămînt.

○ **Notă.** Pentru mai multă siguranță împotriva electrocutării, este recomandată *folosirea tensiunii nepericuloase de 24 V în toate circuitele de comandă.*

Aparatele care nu sînt montate în încăperi speciale trebuie să fie închise în carcase. În locurile umede, cu pericol mare de electrocutare, carcasele trebuie să nu poată fi deschise de personal necalificat; ele trebuie să fie prevăzute cu șuruburi necesitînd chei speciale (de exemplu, șuruburi cu cap triunghiular) sau cu blocaje care să nu permită deschiderea capacului decît după ce întreruptorul interior a fost scos de sub tensiune.

— *Protecția împotriva acționării accidentale a aparatelor* prin prevederea butonului de comandă cu inele de protecție (fig. 6.12). Pentru evitarea comenzilor greșite, indicațiile butoanelor trebuie să fie foarte clare, eventual cu imagini sugestive.

— *Protecția împotriva manifestărilor exterioare ale întreruperii curenților:* flăcări, gaze fierbinți, gaze ionizate etc. Pentru aceasta, carcasele de protecție trebuie să reziste la presiunea gazelor produse la întreruperea curentului corespunzător capacității de rupere, ieșirea gazelor fierbinți trebuie să fie orientată numai în sus, în afara zonei în care s-ar putea găsi mîna sau fața operatorului.

2. Măsuri privind exploatarea aparatelor

Măsurile care trebuie luate în exploatare se împart în:

— măsuri care trebuie luate la montarea aparatelor;

— măsuri care trebuie luate în cursul exploatării.

La montarea aparatelor este necesar:

— să se verifice concordanța dintre parametrii instalației și datele marcate pe aparat sau înscrise în catalogul produsului;

— să se verifice izolația aparatului și funcționarea lui corectă;

— să se fixeze bine aparatele pe panou sau pe perete, să se etanșeze corect trecerile conductoarelor, să se închidă bine capacele, să se respecte distanțele minime prevăzute în instrucțiuni față de alte aparate, și în special în partea superioară față de alte piese puse la pămînt sau sub tensiune;

— să se instruiască personalul asupra modului de deservire marcîndu-se explicit butoanele și manetele de comandă și afișîndu-se principalele indicații privind acționarea mașinii și în special acțiunile periculoase care trebuie evitate.

În exploatarea aparatelor este necesar:

— să nu se intervină la aparate decît după ce au fost sigur scoase complet de sub tensiune, de la întreruptorul sau separatorul din amonte. La acesta trebuie atîrnată o tăbliță cu textul *„Atenție! Se lucrează pe linie"*;

— orice manevră la aparatele deschise trebuie făcută cu mîna protejată cu mănușă electroizolantă de cauciuc și cu fața ferită printr-o mască sau un paravan.

○ **Atenție!** *Închiderea este mai periculoasă decît deschiderea! Nu uitați că puteți închide pe un scurtcircuit!*

Verificarea cunoștințelor

6.1. Ce deosebire este între un contactor și un ruptor?

6.2. Cum pot fi acționate contactoarele?

6.3. Pentru ce utilizări sînt recomandate contactoarele cu mișcare de rotație?

6.4. Ce avantaj prezintă contactoarele cu mișcare de translație?

6.5. Ce categorii de regim de lucru sînt stabilite pentru contactoarele de c.a.?

6.6. Explicați pe schemă funcționarea contactorului cu relee termice.

6.7. Ce blocaje sînt asigurate de schema inversorului de sens automat?

6.8. Ce avantaje prezintă utilizarea întreruptoarelor automate de instalații?

6.9. Ce avantaje prezintă folosirea întreruptoarelor automate față de contactoarele cu relee?

6.10. Ce elemente de protecție intră în componența unui întreruptor automat?

6.11. Cum se asigură din construcția aparatelor electrice protecția împotriva electrocutării?

6.12. Ce măsuri trebuie luate la montarea aparatelor electrice?

Capitolul 7

APARATAJ AUXILIAR PENTRU ACȚIONĂRI INDUSTRIALE ȘI AUTOMATIZĂRI

Includem în această grupă aparatele necesare pentru comanda la distanță a contactelor electromagnetice, precum și cele pentru semnalizarea situației din circuitul comandat.

A. BUTOANE DE COMANDĂ

Butoanele de comandă sînt folosite *pentru comanda voită a contactoarelor* pe mașini-unelte, ascensoare, mașini de ridicat, pupitre de comandă. Ele sînt în general prevăzute cu un contact normal deschis (*ND*) și un contact normal închis (*NI*), putînd fi folosite deci fie ca *butoane de pornire*, fie ca *butoane de oprire*, în funcție de contactul care se conectează în circuit. *Butoanele* mai complexe *(duble)* pot comanda simultan deschiderea unor circuite și închiderea altora (fig. 7.1).

Butoanele de comandă *sînt acționate numai manual*. Ele au o singură poziție stabilă, la care revin îndată ce butonul nu mai este acționat.

Curenții nominali de serviciu sînt, de obicei, 6 A (rar, 10 A) în curent alternativ și 1,5—2 A în curent continuu.

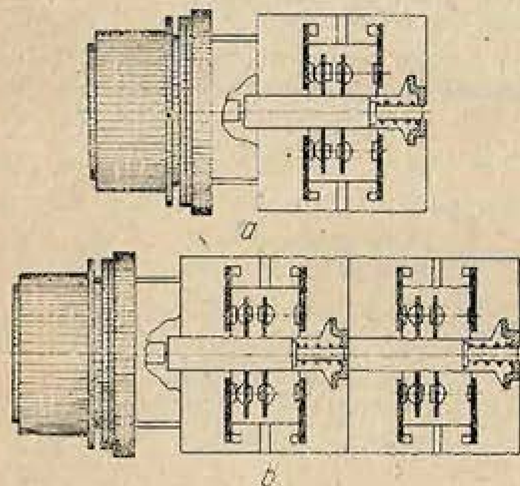


Fig. 7.1. Butoane de comandă: *a* — simplu (2NI+2ND); *b* — dublu (4NI+4ND).

Butoanele de comandă se împart în două grupe mari:
— *butoane pentru montare pe panou;*
— *butoane în cutii închise* (fig. 7.3).

Din punctul de vedere al funcției îndeplinite, există o foarte mare varietate constructivă: *butoane normale* (fig. 7.2, *e*) *butoane ciupercă* (fig. 7.2, *b*) cu capul mai mare, folosite ca butoane de oprire și de avarie, *butoane cu cheie* (fig. 7.2, *c*) care se pot încuia pe poziția dorită, împiedicînd acționarea de către cel care nu posedă cheie, *butoane cu lampă* (fig. 7.2, *a*) care luminează cînd dau comanda, *butoane cu reținere* care rămîn pe poziția închis din care pot ieși prin tragere sau rotire, și multe altele.

O categorie importantă o constituie *butoanele selectoare*, care pot realiza diferite scheme în funcție de poziția micului mîner rotativ cu care sînt prevăzute (fig. 7.2, *d*).

Acest lucru îl pot realiza și *butoanele manipulatoare*, prevăzute cu o manetă a cărei poziție (sus, jos, stînga, dreapta) determină reali-

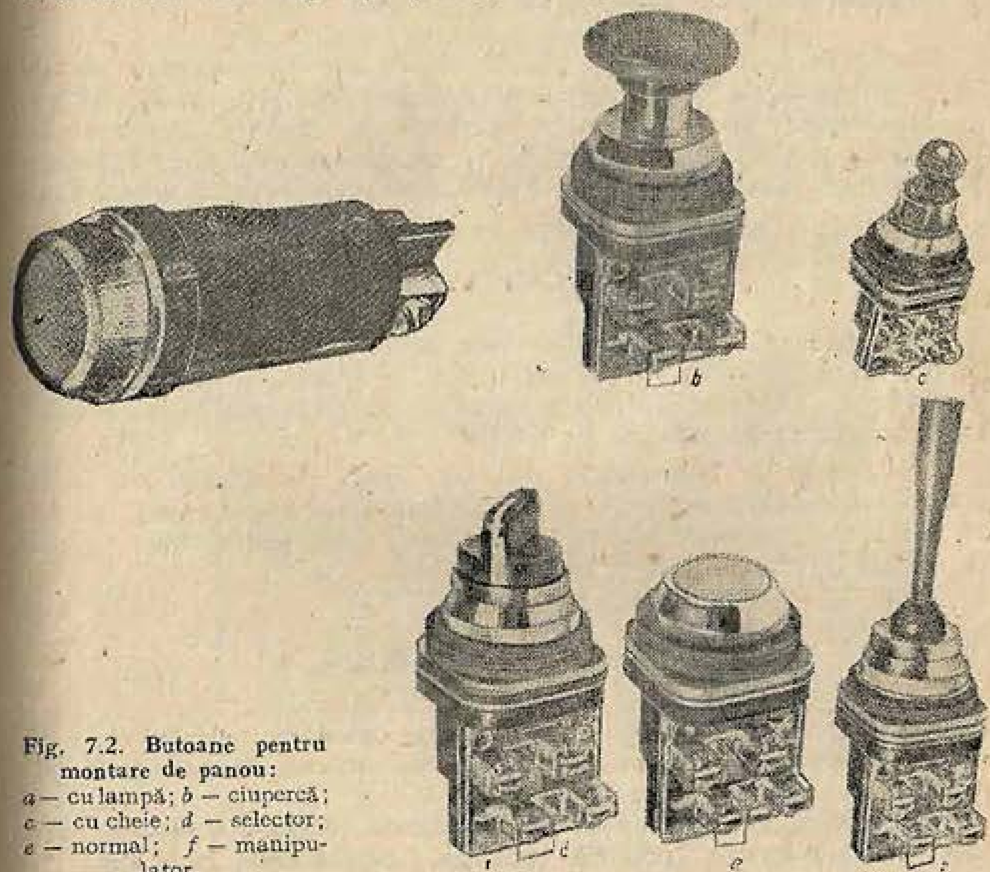


Fig. 7.2. Butoane pentru montare de panou:
a — cu lampă; *b* — ciupercă; *c* — cu cheie; *d* — selector; *e* — normal; *f* — manipulator.

zarea anumitor scheme, de obicei destinate acţionării unui organ al maşinii chiar în sensul indicat de maneta manipulatoare (fig. 7.2,*f*).

Butoanele în cutii închise se clasifică în primul rînd prin numărul de butoane incluse în cutie, în al doilea rînd prin gradul de protecţie asigurat de cutie.

De obicei, butoanele de comandă sînt colorate sau marcate după un anumit cod:

— *verde* sau *litera I* indică butonul de pornire, respectiv de punere sub tensiune a circuitului;

— *roşu* sau *litera O* indică butonul de oprire, respectiv de scoatere de sub tensiune a circuitului.

Unii producători folosesc concomitent marcarea prin culori şi prin litere.

B. CHEI DE COMANDĂ

Cheile de comandă sînt variante ale butoanelor selectoare sau ale comutatoarelor cu came cu curent nominal mic (10—16 A), servind ca aparate de conectare pentru circuitele de comandă. Au două sau mai multe poziţii stabile (cu reţinere), dar pot avea şi poziţii pasagere (cu revenire). Unele variante sînt prevăzute şi cu lampă de semnalizare.

C. LĂMPI ŞI CASETE DE SEMNALIZARE

Lămpile de semnalizare servesc pentru semnalizarea luminoasă pe panouri şi pupitre de comandă, a poziţiei aparatelor mai importante de conectare sau pentru a indica anumite situaţii normale sau anormale în instalaţia supravegheată (fig. 7.3).

Casetele de semnalizare sînt tot lămpi de semnalizare, avînd cutia de dimensiuni mai mari şi o placă frontală din sticlă opacă pe care se pot aplica anumite inscripţii, în scopul de a uşura supravegherea regimului de funcţionare a instalaţiei.

D. LIMITATOARE DE CURSĂ

Limitatoarele de cursă sînt aparate de conectare care *întrerup sau stabilesc circuite sub acţiunea unui element mecanic al instalaţiei aflat în mişcare.*

Astfel, în instalaţiile cu piese în mişcare, acţionate electric, cum sînt: maşinile-unelte, podurile rulante, ascensoarele etc. apare în

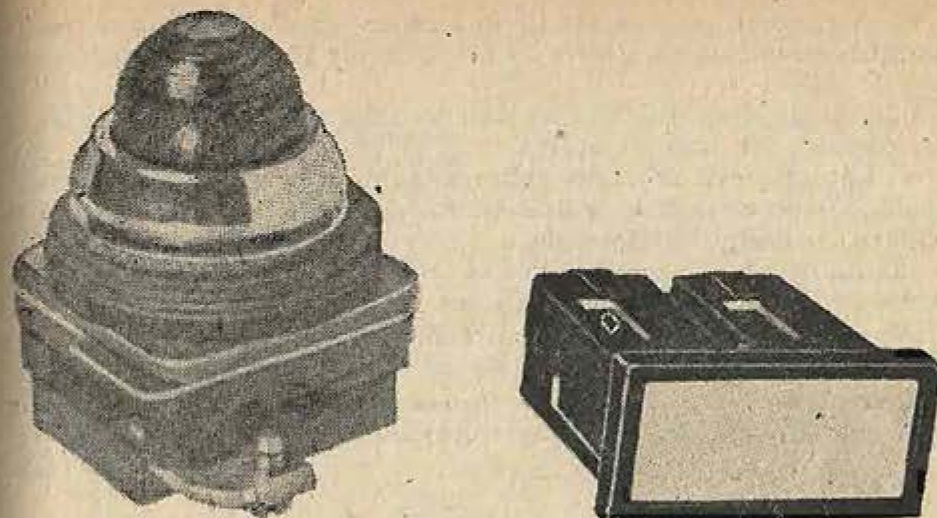


Fig. 7.3. Lămpi şi casete de semnalizare.

mod frecvent necesitatea fie de a se întrerupe funcţionarea instalaţiei cînd cursa organelor în mişcare a depăşit limita permisă, fie de a se comanda o anumită succesiune de operaţii, în funcţie de poziţia unor piese în mişcare.

Deplasarea elementelor mecanice de comandă este de multe ori foarte lentă: dacă deplasarea contactelor mobile ar fi legată direct de organul de comandă, contactele s-ar uza rapid. De aceea, toate limitatoarele de cursă directe (cu curenţi mari) au dispozitive de acţionare bruscă a contactelor, iar cele indirecte există în ambele variante: cu contact de translaţie (fig. 7.4, *a*) şi cu contact săritor (fig. 7.4, *b*).

Limitatoarele de cursă directe întrerup chiar curentul de alimentare a motorului.

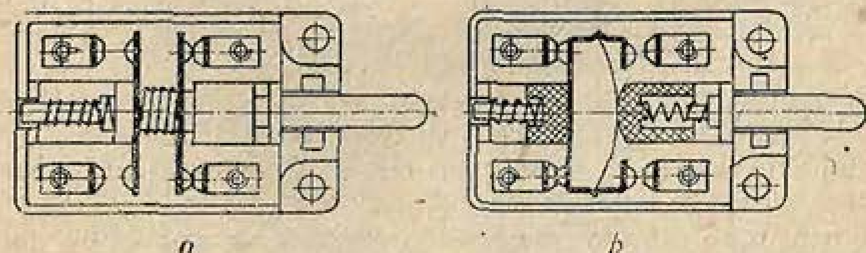


Fig. 7.4. Limitatoare de cursă:
a — cu translaţie; *b* — cu contact săritor; elemente cinematice.

Ele se execută ca aparate de întrerupere în *aer* sau *în ulei*, pentru curenţi nominali cuprinşi între 25 şi 100 A (rar 200 A) şi tensiune nominală de 500 V.

Limitatoarele în ulei sînt folosite numai în medii cu mult praf, vapori corosivi sau gaze explozive.

• **Limitatoarele de cursă indirecte** întrerup curentul de alimentare a bobinei unui contactor, care la rîndul său realizează întreruperea alimentării cu energie a motorului.

Limitatoarele de cursă indirecte se execută numai ca aparate de întrerupere în aer, fiind dimensionate pentru 6 A sau cel mult 10 A, la 380 şi 500 V. Ele se construiesc pentru frecvenţe mari de conectare (600—1 000 de conectări pe oră), dar au o putere de rupere mică.

O mare varietate de *elemente cinematice* asigură satisfacerea numeroaselor necesităţi ale construcţiei maşinilor unelte (fig. 7.4).

E. MICROÎNTRERUPTOARE

Microîntreruptoarele sînt caracterizate prin:

— *întrerupere bruscă*, independentă de viteza de deplasare a organului de acţionare;

— *funcţionare foarte precisă* (comutarea contactelor dintr-o poziţie în alta se face la o anumită poziţie foarte bine definită, a elementului de acţionare);

— *efort mic şi cursă foarte redusă* a elementului de acţionare;

— *dimensiuni reduse;*

— *frecvenţă mare de conectare* (de ordinul a cîtorva mii de conectări pe oră) şi *durată de serviciu foarte mare* (de ordinul a un milion de manevre);

— *curenţi nominali* de ordinul a 6—10 A în curent alternativ şi a 0,5—2 A în curent continuu.

Se folosesc diferite soluţii constructive: cu lamelă elastică în T, cu lamelă elastică în arc de cerc, cu resort elicoidal (fig. 7.5).

Lamelele elastice se execută din bronz cu beriliu, singurul material capabil să asigure o durată mare de serviciu.

Pentru a se satisface multiplele necesităţi ale instalaţiilor moderne, se fabrică astăzi o mare diversitate de microîntreruptoare, care se deosebesc în special prin dimensiuni (fig. 7.6) şi elemente cinematice (fig. 7.7).

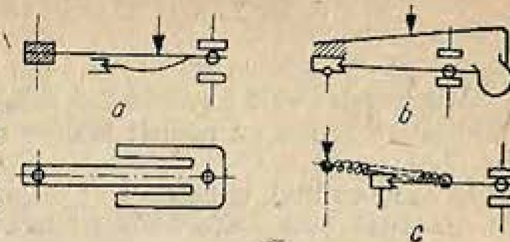


Fig. 7.5. Soluţii constructive pentru deplasarea bruscă a contactului mobil al microîntreruptoarelor:
a — lamelă elastică în T; *b* — lamelă elastică în arc de cerc; *c* — resort elicoidal.

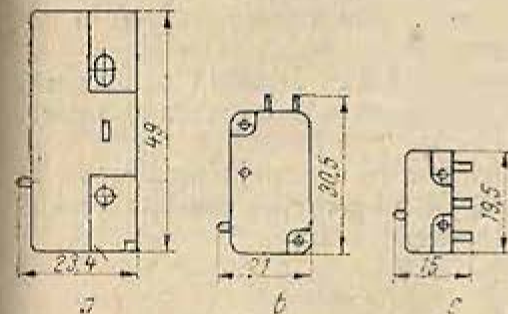


Fig. 7.6. Microîntreruptoare — dimensiuni uzuale:
a — normal; *b* — miniatură; *c* — subminiatură.

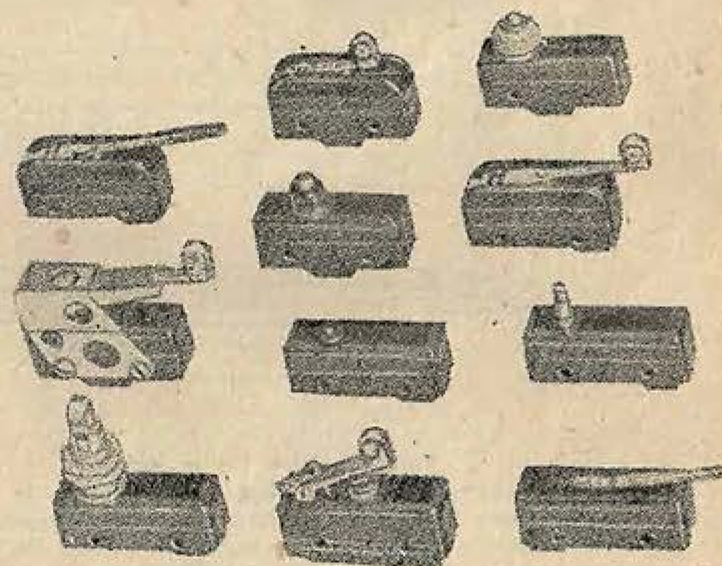


Fig. 7.7. Microîntreruptoare cu diferite elemente cinematice

F. ÎNTRERUPTOARE TRESTIE (RELEE REED)

Aceste relee sînt formate din *două lamele* subțiri de material magnetic (aliaj de fier cu nichel) închise etanș într-un *tub* subțire de sticlă (*fig.* 7.8).

În mod normal, lamelele sînt dispuse la o distanță foarte mică între ele, distanță care asigură totuși izolația necesară. Dacă se apropie de acest tip de magnet sau se introduce tubul în cîmpul electromagnetic al unei bobine parcurse de curent continuu, lamelele se magnetizează și se lipesc, stabilind în acel punct un contact electric. La dispariția cîmpului magnetic exterior, lamelele revin, prin arcuire proprie, în poziția inițială, întrerupînd astfel circuitul.

Pentru obținerea unui bun contact electric, lamelele se acoperă, în zona de contact cu un metal nobil care poate fi, după caz, aur, argint, rodiu etc.

Tubul este umplut cu un gaz inert, pentru a proteja suprafețele de contact împotriva coroziunilor și oxidărilor și pentru a menține o rezistență de contact cît mai coborîtă și constantă.

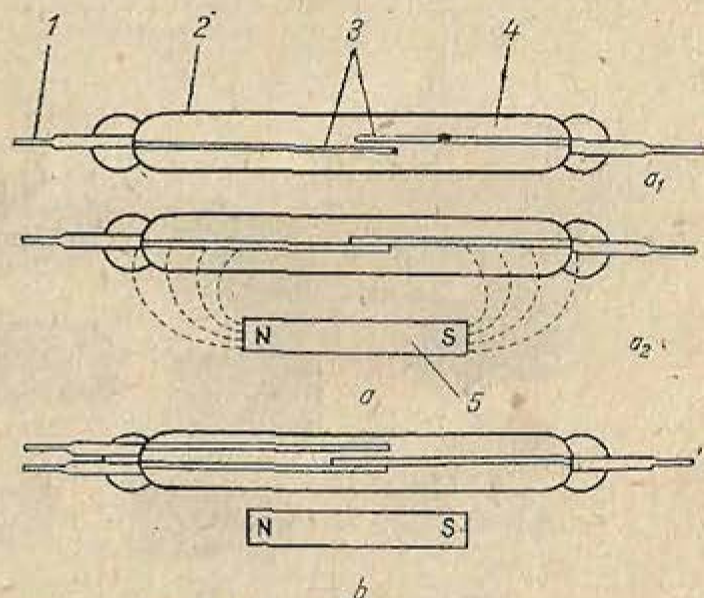


Fig. 7.8. Relee trestie (Reed):
a — cu funcție de întrerupător (a_1 — în poziție deschis; a_2 — în poziție închis); *b* — cu funcție de comutator; *1* — bornă de legătură la circuitul exterior; *2* — tub de sticlă; *3* — lamele din material magnetic; *4* — atmosferă de gaz inert; *5* — magnet de comandă.

Avantajele pe care le prezintă aceste întreruptoare (viteză mare de acționare, rezistență mică de contact, consum de energie foarte mic pentru acționare, insensibilitate față de mediul ambiant, dimensiuni reduse și durată mare de serviciu) le fac deosebit de utile în circuitele electrice de automatizare.

G. RELEE INTERMEDIARE

Releele intermediare sînt folosite pentru amplificarea puterii de comandă sau transmiterea simultană de comenzi în mai multe circuite distincte.

Se realizează în construcții similare contactoarelor electromagnetice.

Verificarea cunoștințelor

7.1. Ce variante constructive ale butoanelor de comandă cunoașteți?
7.2. La ce servesc butoanele manipulatoare?
7.3. Cum se marchează butoanele de pornire și oprire?
7.4. Care sînt caracteristicile microîntrerupătoarelor?
7.5. Ce avantaje prezintă întreruptoarele trestie?
7.6. Ce funcții pot îndeplini în instalații releele intermediare?

Capitolul 8

APARATE ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Înalta tensiune cuprinde întregul domeniu de tensiuni nominale de la 1 kV în sus.

În cadrul acestui domeniu, se numesc *tensiuni medii* tensiunile nominale peste 1 kV şi mai mici de 10 kV, folosite exclusiv pentru alimentarea motoarelor mari (1—6 kV) şi pentru distribuţie. *Tensiunile foarte înalte*, de la 110 kV în sus, se folosesc, de regulă, numai pentru transportul energiei electrice.

În instalaţiile de înaltă tensiune se folosesc o serie de aparate, unele cu acelaşi rol funcţional ca în joasă tensiune, altele cu caracter specific. Le vom analiza în cele ce urmează.

A. SEPARATOARE

Separatoarele sînt *aparate de conectare destinate conectării şi deconectării circuitelor sub tensiune*, dar *fără sarcină*, separarea fiind vizibilă şi cu suficientă izolaţie, pentru ca, pe circuitul deconectat, personalul de întreţinere să poată executa lucrări în deplină siguranţă.

Separatoarele au o capacitate de rupere foarte redusă (pot întrerupe cel mult curenţii de magnetizare ai transformatoarelor mici, de ordinul a cîtorva amperi).

Se realizează în numeroase tipodimensiuni, care se deosebesc prin parametrii nominali (tensiuni între 1 şi 750 kV, curenţi între 200 şi 6 000 A), prin numărul de poli şi prin tipul constructiv.

La *separatoarele cu cuţit* folosite în instalaţiile de interior pînă la 35 kV, iar în exterior pînă la 220 kV, cuţitul execută o mişcare de rotaţie în planul axelor izolatoarelor (fig. 8.1 şi 8.2).

La *separatoarele de tip rotativ* (fig. 8.3) cuţitul se deplasează într-un plan perpendicular pe planul axelor izolatoarelor.

În instalaţiile de foarte înaltă tensiune, în vederea reducerii spaţiului ocupat de separatoare se folosesc separatoarele tip pantograf şi semipantograf cu un singur izolator suport (fig. 8.4 şi 8.5).

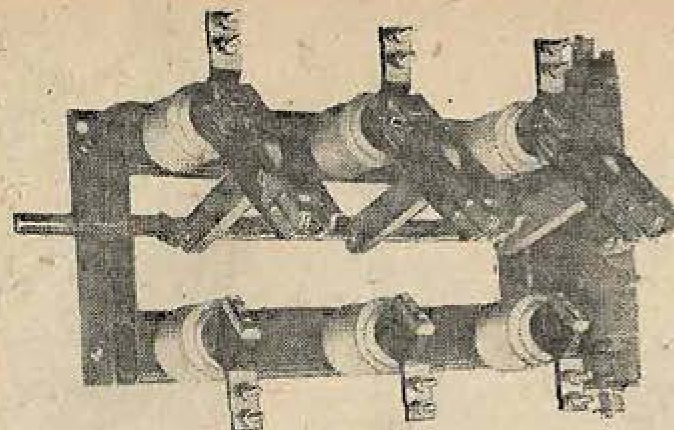


Fig. 8.1. Separator tripolar cu cuţit, de interior (10 kV, 1000 A).

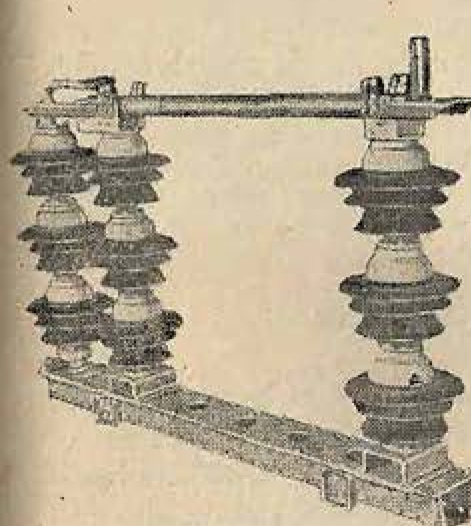


Fig. 8.2. Separator cu cuţit, de exterior (110 kV, 600 A).

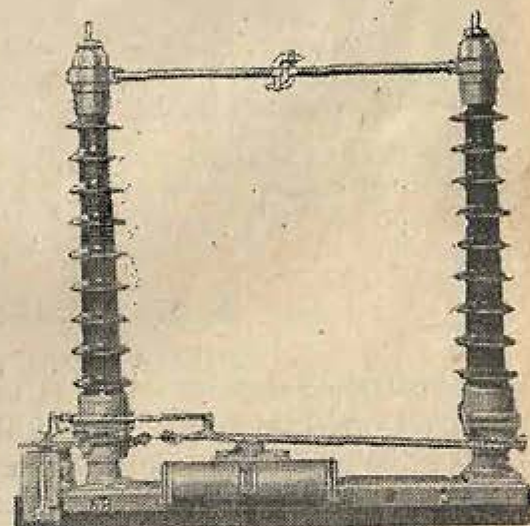


Fig. 8.3. Separator rotativ.

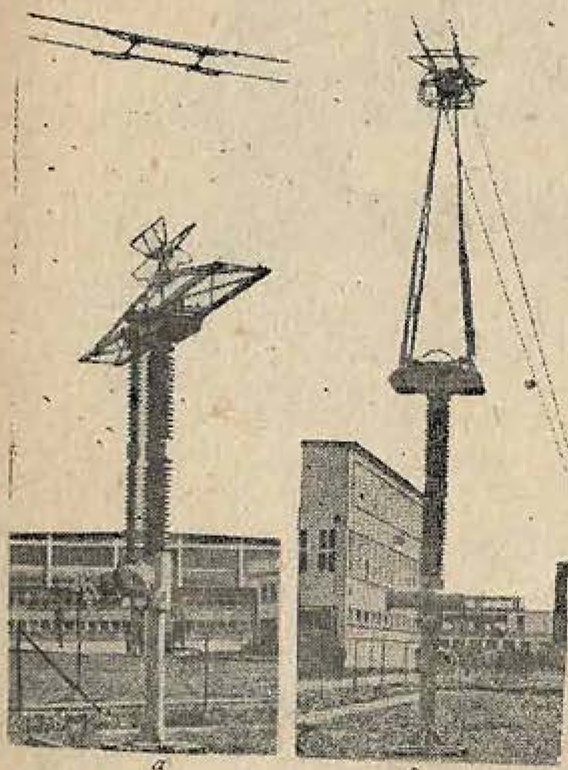


Fig. 8.4. Limitatoare de cursă: *a* — deschis; *b* — închis.

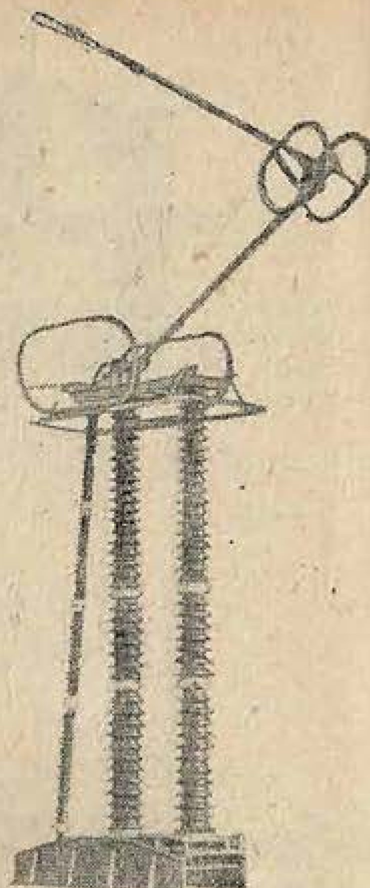


Fig. 8.5. Separator semipantograf 400 kV.

B. SEPARATOARE DE SARCINĂ

În instalațiile electrice de înaltă tensiune este în general necesară pentru orice plecare înserierea unui întreruptor automat (pentru comandă și protecție) cu un separator (pentru separare vizibilă). În instalațiile de medie tensiune, pentru consumatori de mică putere, este însă posibilă folosirea unui singur aparat care să realizeze toate funcțiile (și care revine astfel mult mai ieftin). Acest aparat este *separatorul*

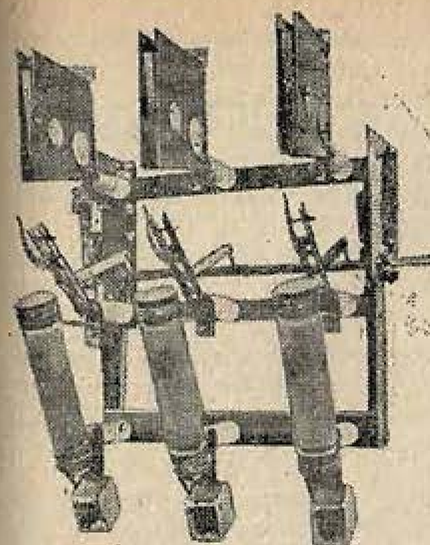


Fig. 8.6. Separator de sarcină pentru 20 kV, 400 A asociat cu siguranțe fuzibile.

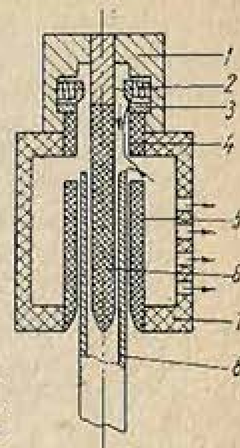


Fig. 8.7. Cameră de stingere cu autoformare de gaze: *1* — cameră de presiune; *2* — contact fix; *3* — contact de repere; *4* — inel de stingere; *5* — tub de stingere; *6* — știft de stingere (reperele *4*, *5* și *6* sînt din material generator de gaze); *7* — cameră de destindere a gazelor; *8* — contact mobil.

de sarcină (fig. 8.6) care are în plus față de separator: un cuțit de rupere, camere de stingere și un sistem de deschidere rapidă. Ca urmare, el poate întrerupe curenții de ordinul curentului nominal, protecția la scurtcircuit fiind preluată de siguranțe fuzibile asociate sau de un întreruptor automat din amonte.

Arcul electric se stinge prin suflaj în *camere de stingere cu autoformare de gaze*, plate sau tubulare, cu pereți din material gazogene ca fibra vulcanică sau plexiglasul, care au proprietatea de a degaja gaze sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric (fig. 8.7), sau în *camere de stingere cu autocompresie* (dotate cu un piston care, sub acțiunea deplasării cuțitului, produce un mic volum de aer comprimat).

C. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE

1. Generalități

În întreruptoarele moderne de înaltă tensiune (cu excepția întreruptoarelor în vid), stingerea arcului se face prin suflaj, coloana de arc fiind supusă acțiunii de răcire și de deionizare a unui jet de gaz.

După modul de producere a acestui gaz, întreruptoarele se împart în două mari grupe: *cu acțiune internă* și *cu acțiune externă*.

• **La întreruptoarele cu acțiune internă**, cum sînt de exemplu întreruptoarele cu ulei puțin, debitul de gaz — deci efectul de stingere — crește o dată cu valoarea curentului întrerupt, deoarece gazul (hidrogen) este produs prin descompunerea uleiului sub acțiunea arcului electric.

Rezultă cîteva *caracteristici specifice:*

— puterea de rupere nu este limitată decît de rezistența mecanică a camerei de stingere;

— curenții mici sînt întrerupți greu, fiind necesar un dispozitiv suplimentar de suflaj, independent;

— aparatele sînt sensibile la defectul evolutiv (apariția unui curent mare de scurtcircuit în timpul stingerii unui curent mic).

• **La întreruptoarele cu acțiune externă**, cum sînt întreruptoarele cu aer comprimat și cele cu hexafluorură de sulf, debitul de gaz este independent de valoarea curentului și este calculat pentru valoarea maximă pe care trebuie să o poată întrerupe aparatul.

Deci:

— aparatele au o putere de rupere strict limitată;

— curenții mici sînt întrerupți violent (înainte de trecerea naturală prin zero), din care cauză apar supratensiuni;

— aparatele sînt sensibile la defectul kilometric (curent de scurtcircuit cu pantă foarte mare a *tensiunii de revenire* *, *care apare atunci* cînd scurtcircuitul se produce în zona periculoasă de 0,8—9 km distanță de întreruptor).

2. Întreruptoare automate cu ulei puțin

Primele întreruptoare automate de înaltă tensiune au fost *întreruptoarele cu ulei mult*, în care uleiul avea *rolul de izolare a polilor față de masă, de răcire a arcului și a pieselor de contact și în special de deionizare* (datorită presiunii mari a hidrogenului produs sub acțiunea arcului electric). Acest ultim efect a fost considerabil mărit o dată cu

* Tensiunea de revenire este tensiunea care apare între contactele deschise după *stingerea arcului. Dacă tensiunea revine înainte de* restabilirea rigidității dielectrice a spațiului, arcul se reaprinde.

folosirea unor *camere de stingere* astfel construite încît gazul sub presiune, antrenînd și particule de ulei rece, să fie dirijat asupra arcului sub forma unui jet longitudinal sau transversal.

Păstrînd numai camera de stingere și trecînd funcția de izolare a uleiului asupra unor izolatoare ceramice, s-a ajuns la *întreruptorul cu ulei puțin*, care, datorită marilor avantaje pe care le prezintă față de întreruptorul cu ulei mult (în special *eliminarea pericolului de explozie și incendiu*) l-a înlocuit integral. Întreruptoarele cu ulei puțin pînă la 20 kV se realizează de obicei în construcția numită *„în consolă"* (fig. 8.8), cele de tensiune mai înalte — în construcția „tip coloană" (fig. 8.9), iar cele de foarte înaltă tensiune (peste 220 kV) — în construcția *„tip V"* specifică ruperii multiple (fig. 8.10).

Camerele de stingere folosite în prezent sînt în special *camere de tip labirint* (fig. 8.11), la care se contează pe următoarele efecte:

— presiunea din camera *1*, datorită descompunerii bruște a uleiului este în general suficientă pentru stingerea curenților relativ mici (în jurul curentului nominal);

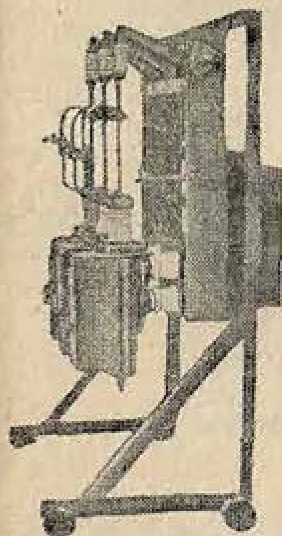


Fig. 8.8. Întreruptor automat cu ulei puțin, construcție „în consolă".

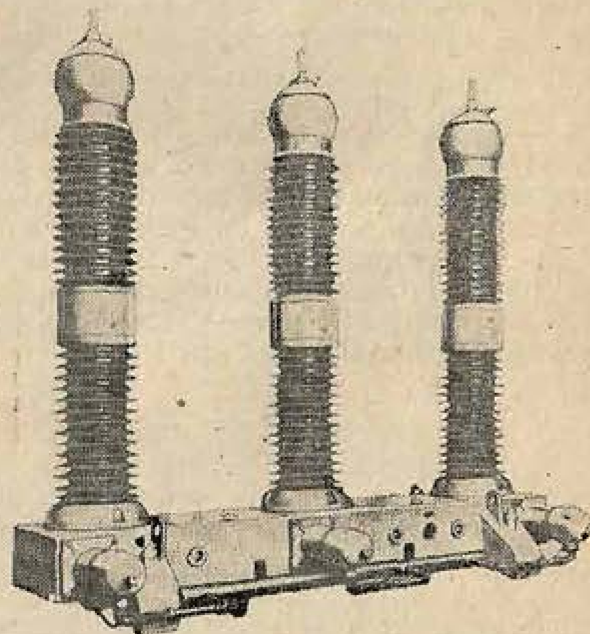


Fig. 8.9. Întreruptor automat cu ulei puțin, de 110 kV tip coloană.

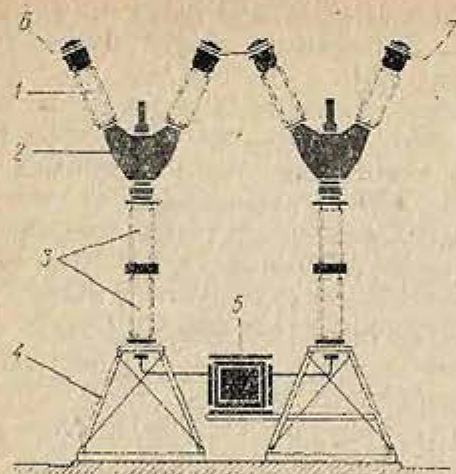


Fig. 8.10. Întreruptor automat cu ulei puțin și rupere multiplă în construcție tip V:

1 — cameră de stingere; 2 — carter; 3 — coloană de izolatoare-suport; 4 — soclu; 5 — bloc de comandă a acționării; 6 și 7 — borne de intrare, respectiv de ieșire.

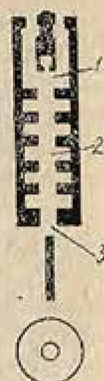


Fig. 8.11. Cameră de stingere tip labirint.

— dacă arcul se întinde și în camera *2, în* momentul trecerii naturale prin zero, presiunea din coloana de arc scade brusc, iar gazele și uleiul din buzunarele laterale pătrund violent în zona centrală răcind-o puternic, deionizînd-o și împiedicînd astfel reamorsarea arcului;

— în sfîrșit, cînd contactul mobil iese în afara camerei, se produce efectul de ajutaj, care apare în zona *3* unde coloana de arc este strangulată și spulberată de gazele și uleiul sub presiune care forțează trecerea prin ajutaj în același timp cu arcul.

3. Întreruptoare automate cu aer comprimat (pneumatice)

În cazul întreruptoarelor cu arc comprimat, stingerea arcului electric se obține trimițîndu-se asupra spațiului dintre contacte, *un jet de aer comprimat*, care spală și îndepărtează gazele ionizate și, prin rigiditatea sa dielectrică mare, împiedică reaprinderea arcului.

Pentru a se obține o putere de rupere cît mai mare, cu un consum redus de aer comprimat, au fost folosite diferite tipuri de camere de stingere (fig. 8.12).

Cele mai bune rezultate s-au obținut prin folosirea *efectului de ajutaj*, explicat anterior la întreruptoarele cu ulei puțin.

În legătură cu acest efect, sînt de relief at două aspecte:

— pentru un ajutaj dat, există o anumită *valoare maximă a curentului* care poate fi întrerupt cu certitudine. Dacă această valoare este depășită, diametrul coloanei de arc ocupă o parte importantă din secțiunea ajutajului și, datorită dilatării puternice a gazelor încălzite de arc, apare o contrapresiune care „înfundă" ajutajul, împiedicînd curentul de aer proaspăt să-și îndeplinească funcțiunea de răcire și deionizare a coloanei de arc;

— *efectul optim* se obține dacă trecerea naturală a curentului prin zero are loc în momentul în care tija se găsește la o anumită distanță *h* de ajutaj. Ținînd seama că această distanță este mică (de ordinul cîtorva centimetri) și deci insuficientă pentru asigurarea rigidității dielectrice după stingerea arcului, constructorii de întreruptoare pneumatice au fost nevoiți să recurgă la soluții foarte originale pentru rezolvarea acestui deziderat.

Construcția cu separator exterior: contactul principal se deschide cu distanța *h*, iar imediat după stingerea arcului se deschide un separator exterior (înseriat cu contactul principal) asigurînd distanța de izolare

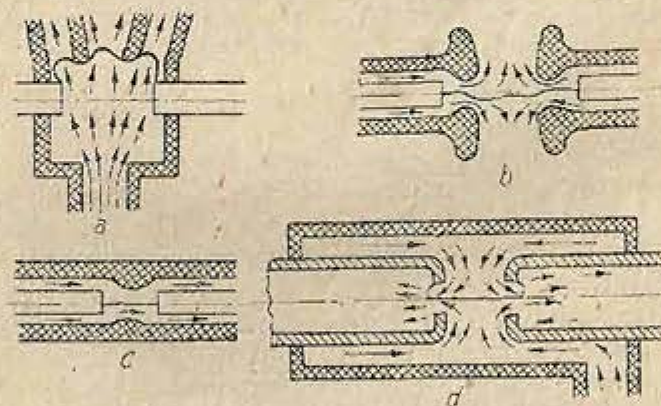


Fig. 8.12. Tipuri de cameră de stingere folosite la întreruptoarele cu aer comprimat:

a — suflaj transversal; *b, c* — suflaj longitudinal (axial); *d* — suflaj radial.

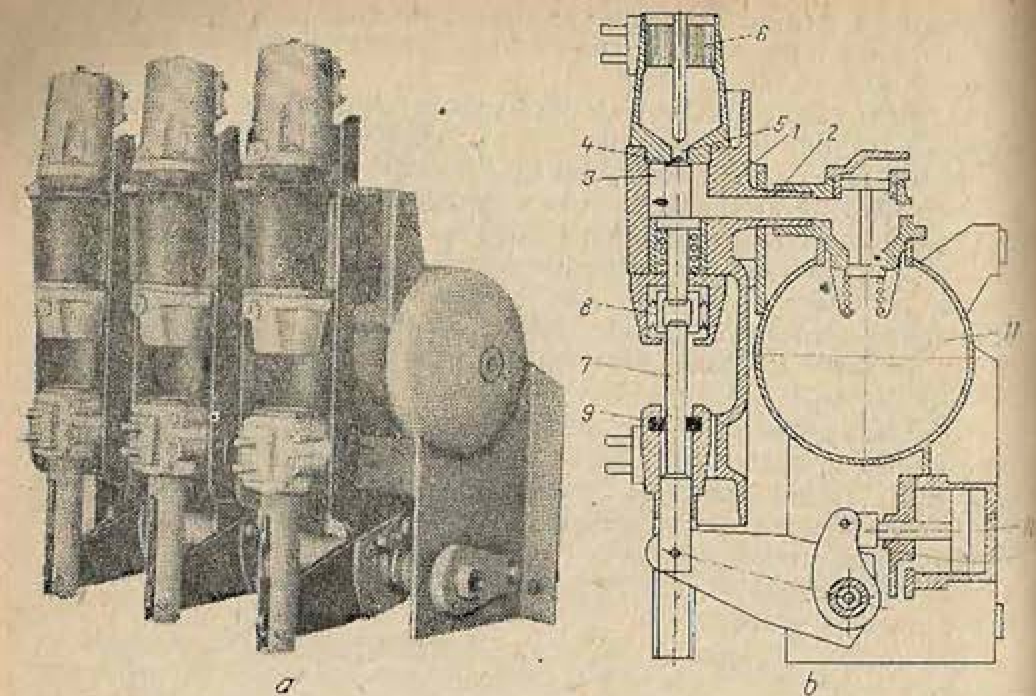
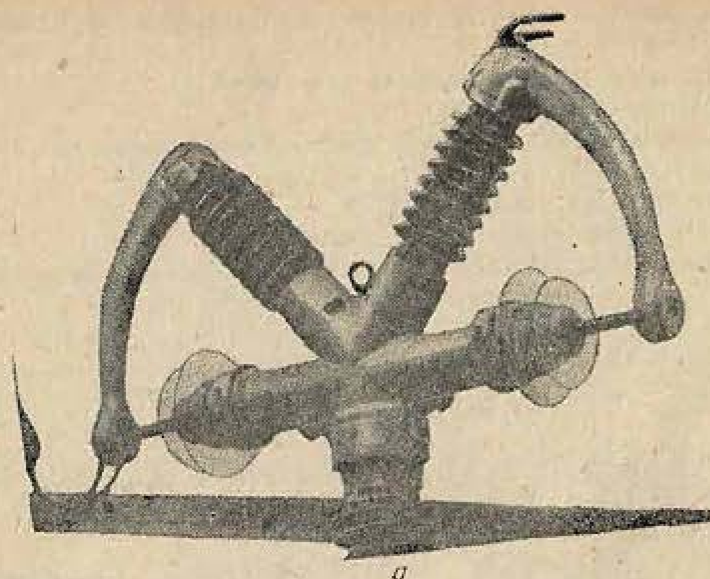


Fig. 8.13. Întreruptor automat cu aer comprimat cu *contact* auxiliar:
a — vedere; *b* — secțiune; *1* — soclu izolant; *2* — conductor de suflaj; *3* — cameră de stingere; *4* — contact principal; *5* — ajutaj; *6* — eșapament; *7* — contact auxiliar de separare; *8* — punte de contact; *9* — contact glisant; *10* — dispozitiv de acționare; 11 — rezervor de aer comprimat.

necesară, după care se reînchide contactul principal. Pentru anclanșare se acționează numai separatorul care este construit cu capacitate mare de închidere. Varianta modernă a acestei construcții este cea cu un *contact auxiliar* care preia rolul separatorului (fig. 8.13);

— *întreruptoarele cu jet liber*, care folosesc un ajutaj „fals" din material refractar, contactul fix fiind la distanță mare, suficientă pentru asigurarea rigidității dielectrice (fig. 8.14). Soluția este deosebit de interesantă și prin faptul că elimină necesitatea separatorului;

— în sfîrșit, o altă soluție este aceea de a *menține aer comprimat în cameră și după stingerea arcului*; datorită rigidității dielectrice foarte mari a aerului comprimat, distanța *h* este suficientă în aceste condiții pentru asigurarea rigidității dielectrice.



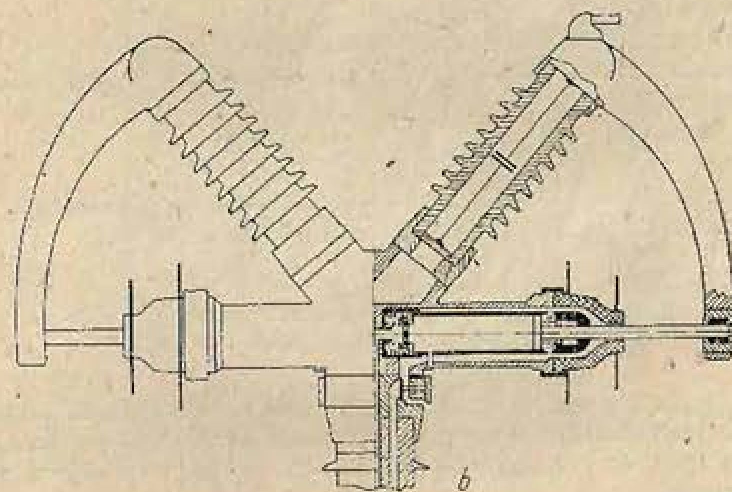


Fig. 8.14. Întreruptor cu jet liber — ansamblu de două camere de stingere:
a — vedere; *b* — secțiune.

Avantajele întreruptoarelor cu aer comprimat sînt:
— înlăturarea completă a pericolului de incendii și explozii;
— puterea de rupere foarte mare;

— întrerupere extrem de rapidă a curenților de scurtcircuit (0,01—0,003 s);
— funcționarea sigură și exploatarea simplă;
— greutate și gabarite mici.

Dezavantajele, în afară de cele specifice întreruptoarelor cu acțiune externă, sînt:
— construcție mai complicată;
— necesită o instalație de aer comprimat;
— deschiderea și închiderea întreruptorului cu aer comprimat este însoțită de un zgomot puternic.

4. Întreruptoare automate cu hexafluorură de sulf

Aceste întreruptoare se bazează pe folosirea proprietății hexafluorurii de sulf (SF_6) de a capta cu ușurință electronii liberi și de a deioniza în acest mod coloana de arc.

Avantajele considerabile ale întreruptoarelor cu hexafluorură de sulf, și anume:
— puterea mare de rupere;
— supratensiuni de întrerupere mici;
— funcționarea în spațiu închis, fără expulzare de gaze sau lichide de întrerupere;
— zgomot foarte redus;
— gabarit mic,
au făcut ca ele să se răspîndească foarte repede, fiind fabricate azi pentru aproape toate tensiunile de către mulți producători.

5. Întreruptoare automate cu rupere în vid

Întreruperea în vid înaintat beneficiază de avantajul considerabil că, în lipsa purtătorilor de sarcini, nu apare arc de întrerupere și rigiditatea dielectrică se restabilește imediat la distanța de cîțiva milimetri între contacte.

Ele sînt indicate în domeniul tensiunilor medii pentru frecvențe mari de conectare.

Avantajele întreruptoarelor cu cameră de stingere în vid înaintat sînt:
— timpi de întrerupere foarte scurți și restabilirea extrem de rapidă a rigidității dielectrice după întrerupere (permițînd frecvențe foarte mari de comutare);

— dimensiuni reduse;
— zgomot redus;
— durată mare de serviciu a contactelor.

D. CONTACTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Pentru a se reduce cheltuielile de investiții și de exploatare, motoarele de puteri mari de 200—250 kW se construiesc în general pentru tensiuni de 3 sau 6 kV.

Acționarea acestor motoare la frecvențe de conectare ridicate nu se poate face cu întreruptoare automate, acestea avînd un număr total de conectări foarte redus.

Aparatele create special pentru acest scop sînt *contactoarele de înaltă tensiune*, care, ca și cele de joasă tensiune, sînt aparate cu putere

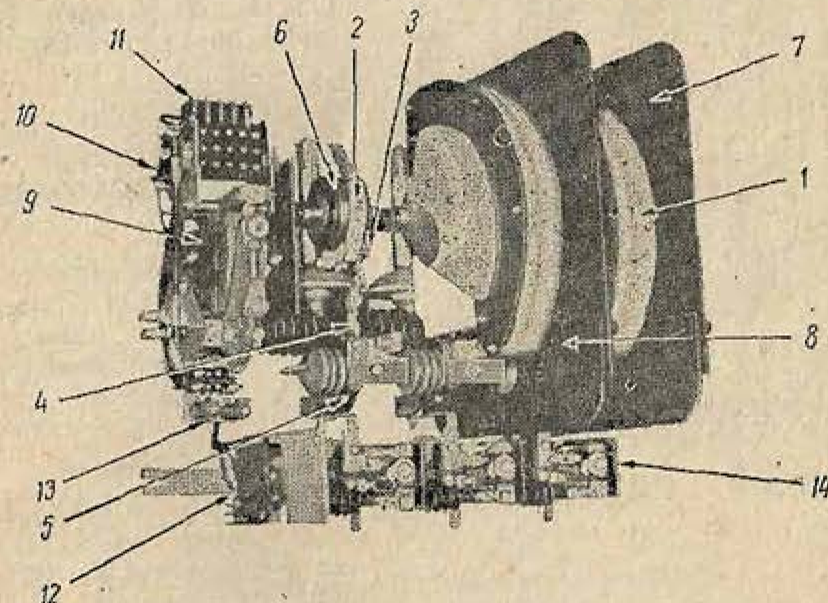


Fig. 8.15. Contactor de înaltă tensiune:
1 — cameră de stingere; *2* — contact fix; *3* — contact mobil; *4* — arcul contactului mobil; *5* — conductor flexibil (tresă); *6* — bobină de suflaj; *7* și *8* — pereți izolanți între polii contactorului; *9* — bobina electromagnetului de acționare (electromagnet de curent continuu); *10* — rezistență adițională pentru limitarea curentului absorbit de bobină în poziția „închis"; *11* — contacte auxiliare; *12* — contact de blocare; *13* — redresor; *14* — relee termice și electromagnetice.

de rupere redusă, dar cu mare rezistență la uzură mecanică și sub sarcină (fig. 8.15).

Se folosesc camere de stingere cu suflaj magnetic.

E. SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Se realizează în construcții similare celor de joasă tensiune, lungimea tubului și a fibrelor fuzibile fiind însă mult mai mare, corespunzătoare tensiunii nominale a siguranței.

De obicei, firele fuzibile sînt spiralizate pe un suport ceramic (fig. 8.16).

Se construiesc pentru tensiuni pînă la 35 kV, curenți pînă la 100 A pentru 10 kV; pînă la 40 A pentru 25—35 kV.

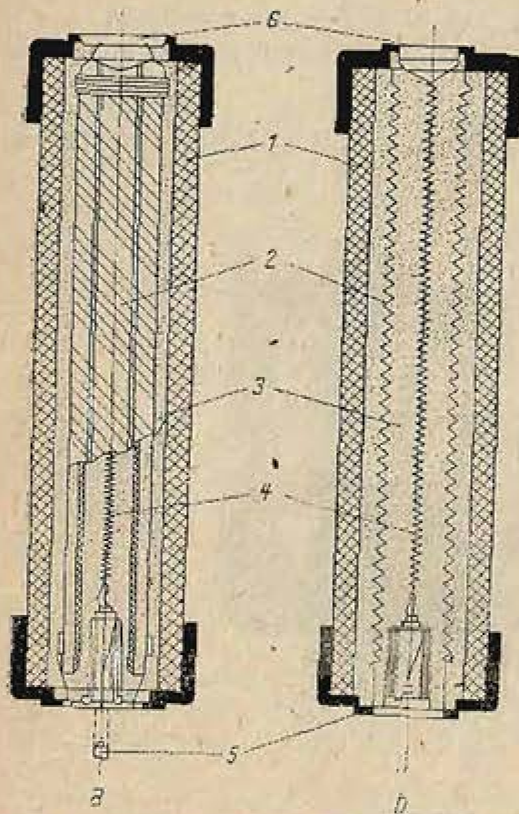


Fig. 8.16. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu mare putere de rupere:
a — fuzibil pe miez ceramic; *b* — fuzibil liber în nisip; *1* — tub izolator; *2* — fir fuzibil; *3* — nisip de cuarț; *4* — sîrmă indicatoare; *5* — indicator; *6* — capac.

F. ECLATOARE ȘI DESCĂRCĂTOARE

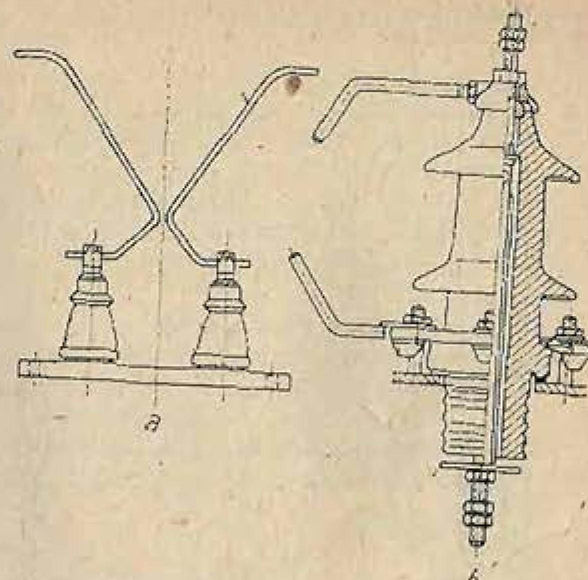
Aparatele de protecție specifice protecției împotriva supratensiunilor sînt *eclatoarele* și *descărcătoarele*.

1. Eclatoare

Un eclator este format din doi electrozi metalici din care unul se conectează la linie, iar celălalt — la pămînt.

Tipurile constructive uzuale sînt: *eclatorul cu coarne* (coarnele ajută la stingerea arcului amorsat) și *eclatorul cu tijă* (fig. 8.17).

Fig. 8.17. Eclatoare de protecție împotriva supratensiunilor:
a — eclator cu coarne;
b — eclator cu tijă.



Sînt aparate similare și ieftine, dar imprecise și în general nu pot stinge arcul amorsat.

2. Descărcătoare tubulare

Prin introducerea unui eclator într-un tub de material gazogen, se obține un descărcător tubular (fig. 8.18) capabil să întrerupă arcul electric format datorită *suflajului de gaze produse prin descompunerea materialului gazogen.*

Pentru a se evita solicitarea continuă a dielectricului tubului, se intercalează de obicei un al doilea eclator între descărcător și conductorul protejat.

3. Descărcătoare cu rezistență variabilă

• **Construcția.** Un descărcător cu rezistență variabilă este format din următoarele elemente (fig. *8.19*):

— o coloană cu discuri *1*, obținute din praf de carbură de siliciu (carborund) aglomerat cu anumiți lianți, care constituie o rezistență *variabilă în funcție de* tensiune (fig. 8.20);

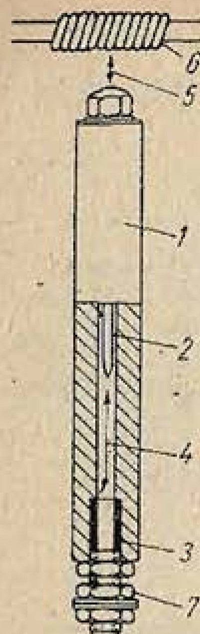


Fig. 8.18. Descărcător tubular:

1 — tub izolant din material generator de gaze; 2 — electrod superior; 3 — electrod inferior; 4 — distanța interioară de amorsare; 5 — distanța exterioară de amorsare; 6 — conductă protejată; 7 — piese de fixare.

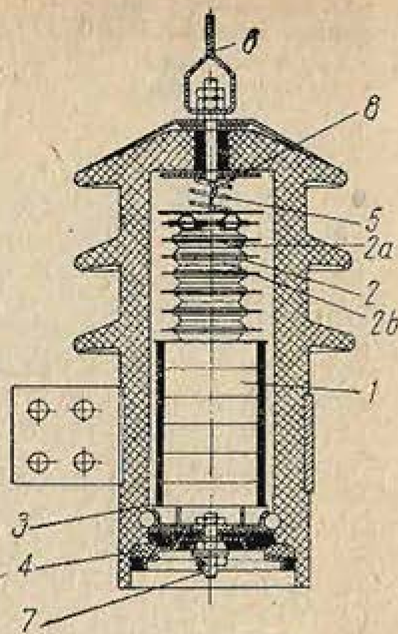


Fig. 8.19. Descărcător cu rezistență variabilă:

1 — discuri de carborund; 2 — eclatoare; 2a — discuri de cupru sau alamă; 2b — inele de distanțare din mică; 3 — carcasă de porțelan; 4 — inele de etanșare; 5 — arc de oțel; 6 — clemă pentru legarea la linie; 7 — borne de legare la pămînt; 8 — conductă flexibilă de cupru.

— o coloană de eclatoare identice 2, formate din discuri de cupru sau de alamă separate prin distanțiere (de mică, steatită etc.);

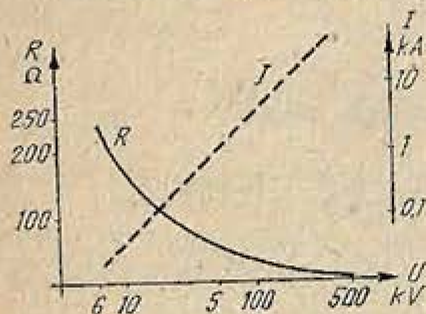


Fig. 8.20. Caracteristicile R și $I = f(U)$ ale unei rezistențe variabile.

— un izolator de porțelan, în interiorul căruia sînt închise ermetic eclatoarele și rezistențele;

— bornele de legătură electrică și elementele de fixare, mecanică.

• **Principiul de funcționare.** La apariția unei supratensiuni, eclatorul amorsează un arc electric. Se stabilește astfel prin rezistențe un curent de punere la pămînt de cîteva sute pînă la cîteva mii de amperi.

Deoarece rezistența discurilor este cu atît mai mică cu cît tensiunea aplicată este mai mare, căderea de tensiune la bornele descărcătorului, numită *tensiune reziduală*, se menține la valori nepericuloase pentru izolația instalației.

După ce supratensiunea a fost anihilată în acest mod, eclatorul rămîne ionizat, iar prin descărcător continuă să treacă un curent alimentat de tensiunea de serviciu, numit *curent de însoțire*. Dar, la valoarea tensiunii de serviciu corespunde o valoare mult mai mare a rezistenței variabile, care limitează curentul prin descărcător, la valori suficient de mici (cîteva zeci de amperi) pentru a putea fi stins de eclator la prima trecere naturală prin zero.

G. BOBINE DE REACTANȚĂ

Bobinele de reactanță se folosesc pentru limitarea curenților de scurtcircuit în rețelele de medie tensiune. Curentul de scurtcircuit este

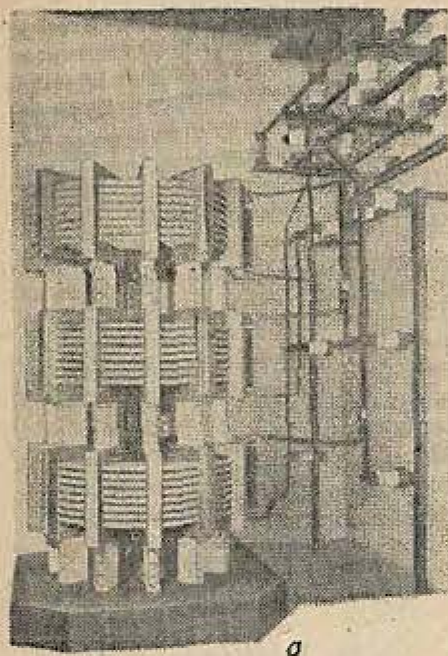
$$I_{sc} = \frac{U}{Z_L + Z_R}$$

unde Z_L este impedanța liniei, iar Z_R este impedanța bobinei de reactanță (practic egală cu reactanța, rezistența ohmică a bobinei fiind foarte mică). Se vede că printr-o dimensionare corespunzătoare a bobinei se poate obține o reducere apreciabilă a curentului de scurtcircuit.

De obicei, bobinele se calculează astfel încît curentul de scurtcircuit să fie limitat la 20 I_n.

Bobinele de reactanță sînt bobine în aer, fără miez de fier. La scurtcircuit deoarece o mare parte din tensiunea rețelei se aplică la bornele bobinei, este puternic solicitată izolația între spire. De asemenea, apar forțe electrodinamice de ordinul tonelor care solicită puternic atît spirele cît și legăturile între ele.

De aceea spirele se rigidizează prin turnare în beton sau cu distanțiere din isoplac sau stratitex (fig. 8.21).



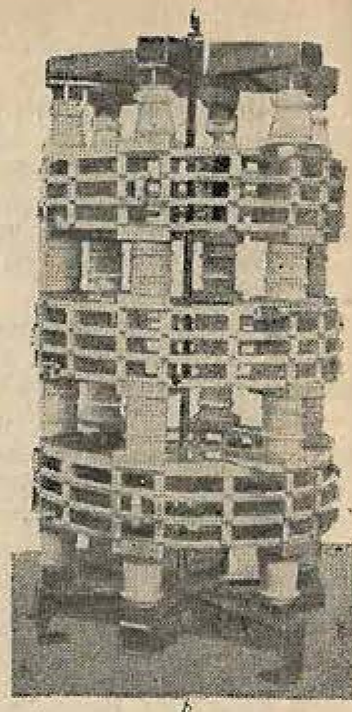


Fig. 8.21. Bobină de reactanță trifazată de 10 kV, cu izolație în aer:
a — cu schelet de beton; *b* — cu izolație uscată.

În cazul în care cele trei bobine de fază se montează suprapus, bobina corespunzătoare fazei de mijloc trebuie astfel montată, încît sensul de spiralizare al conductoarelor să fie opus celui al celorlalte două faze (în caz contrar, apar solicitări electrodinamice foarte mari între bobine).

Verificarea cunoștințelor

8.1. Care sînt criteriile de clasificare a separatoarelor?
8.2. Ce tipuri constructive de întreruptoare automate cunoașteți?
8.3. Cum funcționează camerele de stingere ale întreruptoarelor cu ulei puțin?
8.4. Cum funcționează o cameră cu ajutaj și care sînt limitele sale?
8.5. Ce avantaje prezintă întreruptoarele cu hexaflorură de sulf?
8.6. Descrieți construcția unei siguranțe fuzibile.
8.7. Ce realizează descărcătoarele?
8.8. Care sînt principalele elemente componente ale unui descărcător cu rezistență variabilă?
8.9. Ce măsuri trebuie luate la montarea bobinelor de reactanță?

Partea a doua

AUTOMATIZĂRI

Capitolul 9

NOȚIUNI GENERALE PRIVIND AUTOMATIZĂRILE ȘI SISTEMELE DE REGLARE AUTOMATĂ

A. OBIECTUL ȘI IMPORTANȚA AUTOMATIZĂRII ÎN CONDIȚIILE PROGRESULUI TEHNICO-ȘTIINȚIFIC

1. Obiectul și funcțiile automatizării

În procesul de producție a bunurilor materiale, o importanță deosebită o are automatizarea producției, adică realizarea acestui proces fără participarea directă a omului.

Automatizarea reprezintă *totalitatea mijloacelor tehnice care permit renunțarea la participarea directă a omului în procesul de producție.*

Dispozitivul de automatizare (*DA*) este *acel dispozitiv care, în funcție de condițiile impuse, realizează comanda și (sau) controlul unui anumit proces (sau faze) de producție și care permit să se renunțe, astfel, la intervenția directă a omului pentru îndeplinirea acestor funcțiuni, intervenție altfel necesară.*

În figura 9.1 s-au reprezentat cele două situații cînd conducerea procesului (sau a instalației) se efectuează de către operatorul uman (*OM*), respectiv de către dispozitivul de automatizare (*DA*).

Preluarea funcțiilor operatorului uman de către dispozitivele de automatizare reprezintă **conducerea automată** sau **automatizarea procesului** (**a instalației**).

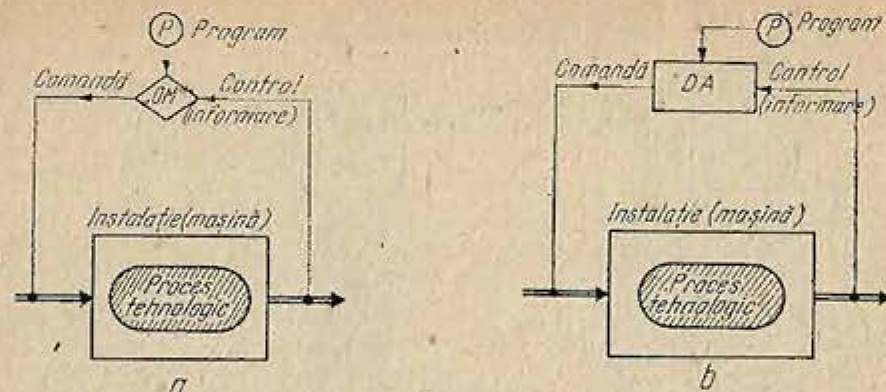


Fig. 9.1. Conducerea procesului:
a — de către operatorul uman; *b* — de către dispozitivul de automatizare.

Procesul (instalaţia tehnologică) care realizează efectiv procesul de producţie şi la care se ataşează dispozitivul de automatizare, care preia funcţiile operatorului uman, reprezintă *procesul tehnologic* (instalaţia) *automatizat* (*PT*, respectiv *IA* — fig. 9.2).

Ansamblul format din dispozitivul de automatizare (*DA*) *şi procesul tehnologic automatizat* (sau *instalaţia automatizată*) reprezintă un **sistem de automatizare** sau un **sistem automat** (*SA*) — (fig. 9.2).

2. Avantajele automatizării producţiei

Prin automatizarea producţiei se obţin:

— *avantaje de ordin economic*, cum sînt: creşterea cantitativă a producţiei obţinute în unitatea de timp (mărirea productivităţii maşinilor sau instalaţiilor), reducerea consumului de materie primă şi materii auxiliare, reducerea numărului instalaţiilor şi utilajelor necesare, reducerea cheltuielilor de producţie şi a preţului produselor ş.a.;

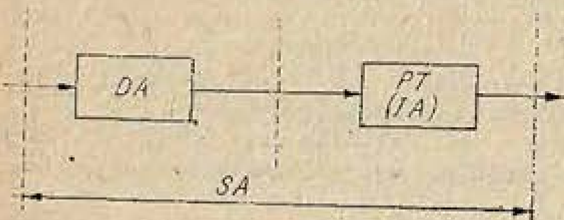


Fig. 9.2. Sistemul automat cu părţile componente.

— *avantaje de ordin tehnic*, cum sînt: îmbunătăţirea calităţii produselor, creşterea fiabilităţii producţiei şi a produselor, creşterea duratei de utilizare şi reducerea uzurii instalaţiilor şi a utilajelor ş.a.;

— *avantaje de ordin social*: îmbunătăţirea condiţiilor de lucru (prin automatizarea lucrărilor grele şi cu volum mare şi eliberarea omului de la activităţi care solicită un efort fizic intens), creşterea securităţii muncii în instalaţiile tehnologice (sau procesele în care activitatea se caracterizează printr-un anumit grad de periclitate), ridicarea nivelului de trai.

Deşi introducerea automatizării implică investiţii suplimentare, reducerea cheltuielilor pe ansamblul investiţiei şi implicit reducerea costului produselor, în condiţiile creşterii substanţiale a calităţii produselor, justifică pe deplin cheltuielile efectuate.

3. Dezvoltarea automatizării în condiţiile progresului tehnico-ştiinţific

Pe măsura dezvoltării economice şi sociale, a progresului tehnico-ştiinţific general, producţia a înregistrat transformări continue. S-a realizat o reducere treptată a muncii fizice a omului, ca şi a celei intelectuale necreatoare, de rutină, compensată de o creştere corespunzătoare a volumului activităţilor intelectuale creatoare, cu funcţiuni de concepţie, conducere şi organizare a producţiei şi a muncii.

În ţara noastră, introducerea mijloacelor de automatizare, în general, şi a celor de reglare automată, în particular, a cunoscut un ritm înalt şi continuu ascendent. În deplină concordanţă cu politica fermă de industrializare socialistă a ţării, cu continua dezvoltare a cercetării ştiinţifice şi promovarea progresului tehnic, s-au extins şi s-au diversificat mecanizarea şi automatizarea producţiei.

Directivele Congresului al XIII-lea al P.C.R. cu privire la dezvoltarea economico-socială a României în cincinalul 1986—1990 şi orientările de perspectivă pînă în anul 2000 prevăd asigurarea unei dezvoltări în ritm înalt a ramurilor de vîrf ale industriei, concomitent cu ridicarea gradului de tehnicitate a tuturor ramurilor industriale. Pe această linie, producţia industriei electronice, inclusiv a mijloacelor tehnicii de calcul, va creşte pe cincinal cu 62—67 la sută, se vor generaliza automatizarea, cibernetizarea şi robotizarea producţiei şi a altor activităţi economico-sociale.

Dar, introducerea pe scară largă a automatizării producției impune preocuparea pentru ridicarea continuă a calificării muncitorilor, tehnicienilor și inginerilor pentru a exploata, proiecta și fabrica în cele mai bune condiții aparatura de automatizare, măsurare și control pentru instalațiile și sistemele de automatizare.

B. NOȚIUNI GENERALE DESPRE SISTEMELE DE REGLARE AUTOMATĂ (SRA)

1. Obiectul reglării automate

Reglarea automată este *acel proces, îndeplinit automat, prin care o mărime fizică este fie menținută la o valoare prescrisă constantă* — numită *consemn* — *fie își modifică valoarea la intervale de timp date, conform unui anumit program, luînd astfel o succesiune de valori prescrise.*

În acest scop, un dispozitiv de automatizare numit *regulator automat* (*RA*) permite eliminarea operatorului uman ca intermediar între aparatele de măsurat, cu ajutorul cărora se determină diferența dintre valoarea la un moment dat și valoarea prescrisă a mărimii fizice ce se reglează și organul de execuție al comenzilor date prin care se acționează asupra obiectului (instalației sau procesului) reglat.

2. Mărimi caracteristice pentru sistemele de reglare automată

Pentru instalațiile tehnologice și procesele tehnice, aplicarea reglării automate are o importanță deosebită. De exemplu, funcționarea mașinilor cu abur, a motoarelor cu ardere internă, a turbinelor etc. este direct legată de reglarea turației, a presiunii și debitului agentului motor (abur, gaz, apă etc.), a temperaturii, a ungerii ș.a.; pentru funcționarea generatoarelor sincrone la tensiune constantă trebuie modificată în mod corespunzător excitația etc.

Desigur, o reglare este necesară numai atunci cînd mărimea reglată nu poate rămîne constantă de la sine, la valoarea dorită și are tendința de a-și modifica valoarea, de a se abate mai mult sau mai puțin în urma unor efecte perturbatoare externe sau interne.

În cazul oricărei reglări se deosebește o *mărime reglată* și o *mărime de execuție*.

• *Mărimea care trebuie menținută la valoarea prescrisă* este **mărimea reglată**.

Mărimi reglate sînt, de exemplu, frecvența, turația, tensiunea, și puterea electrică, temperatura, debitul, nivelul dintr-un rezervor etc.

• **Mărimea de execuție** *este mărimea obținută la ieșirea organului de execuție al instalației de reglare și cu ajutorul căreia se poate influența mărimea reglată, pentru a o aduce la valoarea dorită.*

De exemplu, dacă se urmărește menținerea constantă a turației unui motor electric de curent continuu, pentru variația turației în sensul dorit se variază curentul de excitație al motorului. Deci, mărimea reglată este, în acest caz, turația, iar mărimea de execuție este curentul de excitație al motorului.

Pentru menținerea constantă a tensiunii la bornele unui generator sincron se variază corespunzător tensiunea de excitație; mărimea reglată este tensiunea la borne, iar mărimea de execuție este tensiunea (sau curentul) de excitație.

• *Influențele externe sau interne care sînt cauzele abaterilor valorilor instantanee ale mărimii reglate de la valoarea prescrisă* se numesc, în tehnica reglării, **perturbații** sau **mărimi perturbatoare**.

La reglarea unei anumite mărimi se exercită influența uneia sau a mai multor mărimi perturbatoare. Astfel, în cazul reglării turației motorului de curent continuu se exercită influența unor perturbații diferite: tensiunea variabilă de alimentare a motorului, variația cuplului de sarcină cerut de mașina de lucru antrenată de motorul respectiv, variația rezistenței electrice cu temperatura etc.

De regulă, efectul influenței uneia dintre mărimile perturbatoare poate fi preliminat; această perturbație este considerată ca *perturbație principală* și acțiunea de reglare se manifestă în sensul eliminării abaterii mărimii reglate de la valoarea prescrisă sub influența perturbației principale.

În figura 9.3 este reprezentată schema-bloc a obiectului reglării în general (instalația sau procesul tehnologic supuse reglării). La intrarea obiectului reglării (*OR*), reprezentat simbolic printr-un dreptunghi, se aplică mărimea de execuție x_m; la ieșire, rezultă mărimea reglată

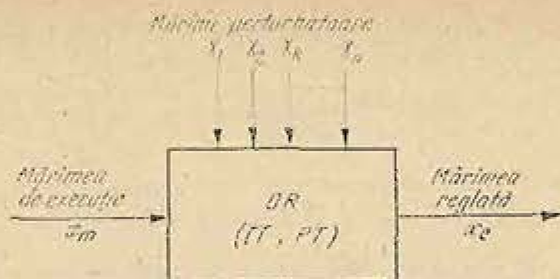


Fig. 9.3. Schema-bloc a obiectului reglării, in general: OR — obiectul reglării (instalaţia tehnologică IT, procesul tehnologic PT).

x_e. Din exterior, se exercită acţiunea unor mărimi perturbatoare X_1, X_2, ... X_n, *dintre care* urmează a fi selectată perturbaţia principală.

3. Elementele unui sistem de reglare automată

În figura 9.4 s-a reprezentat simplificat o instalaţie pentru reglarea automată a temperaturii apei la ieşirea din schimbătorul de căldură. Instalaţia de reglare automată cuprinde: *elementul de măsurat, elementul de comparaţie, regulatorul automat* şi *elementul de execuţie*.

• **Elementul de măsurat** (traductorul) *EM* este reprezentat de termometrul manometric *1*, instalat pe conducta de apă caldă, la ieşirea din incălzitor. Acest element măsoară temperatura θ_e a apei la ieşire şi transformă energia termică absorbită de la apa caldă într-o variaţie de presiune, pe care o transmite prin tubul capilar *2* la tubul Bourdon *3*; acesta din urmă transformă variaţia de presiune într-o *deplasare, prin* care se modifică poziţia paletei *4*. Elementele *1, 2, 3* şi *4*, la care se poate adăuga şi indicatorul 5 (atunci cind există), formează impreună elementul de măsurat al instalaţiei de reglare.

• **Elementul de comparaţie** *EC* compară temperatura apei la ieşire θ_e cu valoarea prescrisă (de consemn) θ_i, rezultind *abaterea de reglare* sau *eroarea*: $x_a = \Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$. În schema din figura 9.4, valoarea prescrisă a temperaturii $\theta_i = x_i$ = mărimea de intrare este reprezen*tată prin* punctul de oscilaţie al paletei *4*. Acest punct poate fi deplasat manual în sus sau in jos cu ajutorul tijei *5*. Valoarea măsurată θ_e a

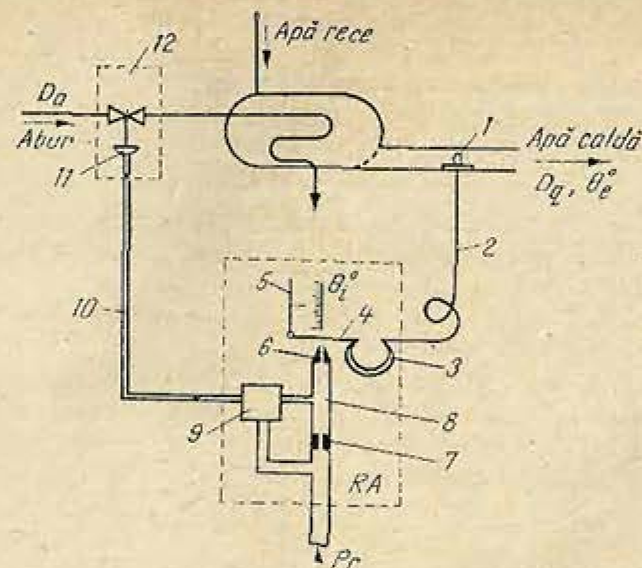


Fig. 9.4. Instalaţia de reglare automată a temperaturii apei la ieşirea din schimbătorul de căldură.

temperaturii apei la ieşirea din încălzitor este reprezentată prin poziţia extremităţii mobile a tubului Bourdon, articulate cu paleta *4*. Atunci cind $\theta_e = \theta_i$ (deci $\Delta\theta = 0$), mijlocul paletei se află exact în dreptul ajutajului conic *6*. La orice altă valoare $\theta_e = \theta_i$ (deci $\Delta\theta \neq 0$), poziţia punctului de la mijlocul paletei reprezintă o mărime proporţională cu diferenţa $(\theta_i - \theta_e)$. Temperatura θ_e reprezintă mărimea de ieşire x_e, iar deplasarea extremităţii tubului Bourdon reprezintă *mărimea de reacţie* x_r. Rezultă eroarea: $x_a = x_i - x_r = \varepsilon$, mărimea de la ieşirea elementului de comparaţie *EC*.

• **Regulatorul automat** *RA*, reprezentat simplificat în figura 9.4, indeplineşte, în acest exemplu, numai o funcţie de amplificare a semnalului primit de la elementul de comparaţie.

În spaţiul *8* al amplificatorului *pneumatic (sistem* duză — paletă), alimentat cu aer sub presiune constantă prin elementul de strangulare *7*, se obţine o presiune proporţională cu distanţa între paletă şi ajutaj, deci proporţională cu diferenţa $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$.

Amplificatorul pneumatic *9*, alimentat de la aceeaşi sursă de aer comprimat, produce în conducta *10* o presiune proporţională cu $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$. Această presiune reprezintă *mărimea de comandă* x_c, adică mărimea de la ieşirea regulatorului *RA*. Mărimea de comandă este *mărimea de intrare* pentru elementul de execuţie *EE*.

• **Elementul de execuţie** *EE* este ventilul *12*, care modifică debitul D_a al aburului de încălzire. Ventilul are o membrană *11*, asupra căreia se exercită presiunea de aer din conducta *10*, de la ieşirea din regulator. Secţiunea deschiderii ventilului asigură valoarea debitului D_a *(mărimea de execuţie* x_m*)* care se aplică la intrarea schimbătorului de căldură (instalaţia reglată sau obiectul reglării *OR*).

○ **Se observă că** un sistem de reglare automată are rolul de a realiza o anumită lege de dependenţă între mărimea de ieşire x_e, care caracterizează la un moment dat o instalaţie sau un proces tehnologic, şi mărimea de intrare (sau consemnul) x_i prin care se comandă modificările în funcţionarea acestora.

Ansamblul format din *obiectul reglării* (instalaţia reglată) + *regulatorul automat* + *elementele de măsurare, comparare* şi *execuţie*, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces, se numeşte **sistem de reglare automată** (prescurtat *SRA*).

4. Schema funcţională a unui SRA. Exemple de sisteme de reglare

Pentru studiul reglării automate se utilizează o reprezentare simbolică, denumită *schemă funcţională*.

Schema funcţională a unui sistem de reglare automată este acea *schemă în care se indică elementele componente ale sistemului de reglare automată* (*SRA*), *destinaţia lor şi legăturile funcţionale între ele.*

Elementele unui sistem de reglare automată sînt reprezentate în schema funcţională prin *blocuri funcţionale*, figurate prin dreptunghiuri.

Schema funcţională a unui *SRA* conţine:

— *legătura directă* sau *principală*, care înglobează toate elementele cuprinse între elementul de comparaţie *EC* şi ieşirea instalaţiei automatizate;

— *legătura inversă* sau *secundară*, numită deseori *„cale de reacţie"*, care cuprinde elementele situate între ieşirea instalaţiei automatizate şi elementul de comparaţie.

Transmiterea semnalului (sau informaţiei) se face de la intrare spre ieşirea *SRA* pe legătura directă şi de la ieşire spre intrarea *SRA* pe legătură inversă.

Împreună, cele două legături (directă şi inversă) alcătuiesc un *circuit închis de reglare automată* sau *o buclă de reglare*.

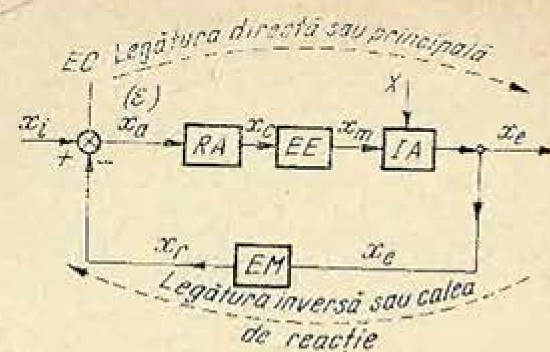
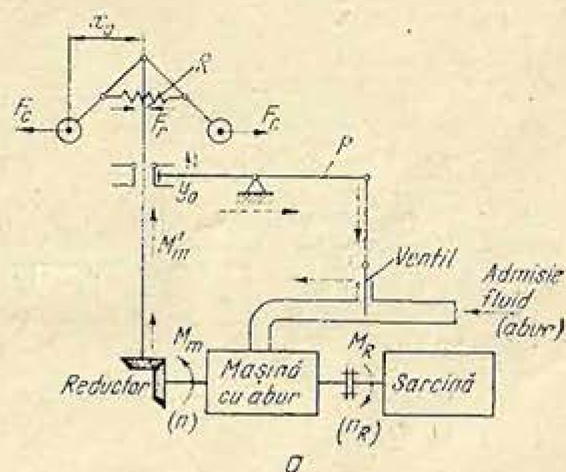


Fig. 9.5. Schema funcţională pentru *SRA* **din figura 9.4:**
EC — element de comparaţie (sau comparator diferenţial); *RA* — regulator automat; *EE* — element de execuţie; *EM* — element de măsurat; *IA* — instalaţia automatizată.



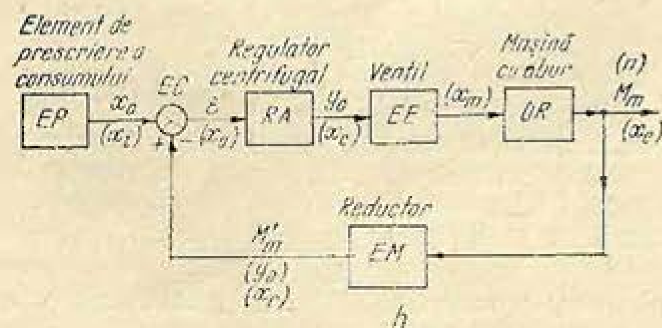


Fig. 9.6. Instalaţie de reglare automată:
a — schema de principiu a instalaţiei de reglare; *b* — schema ei funcţională.

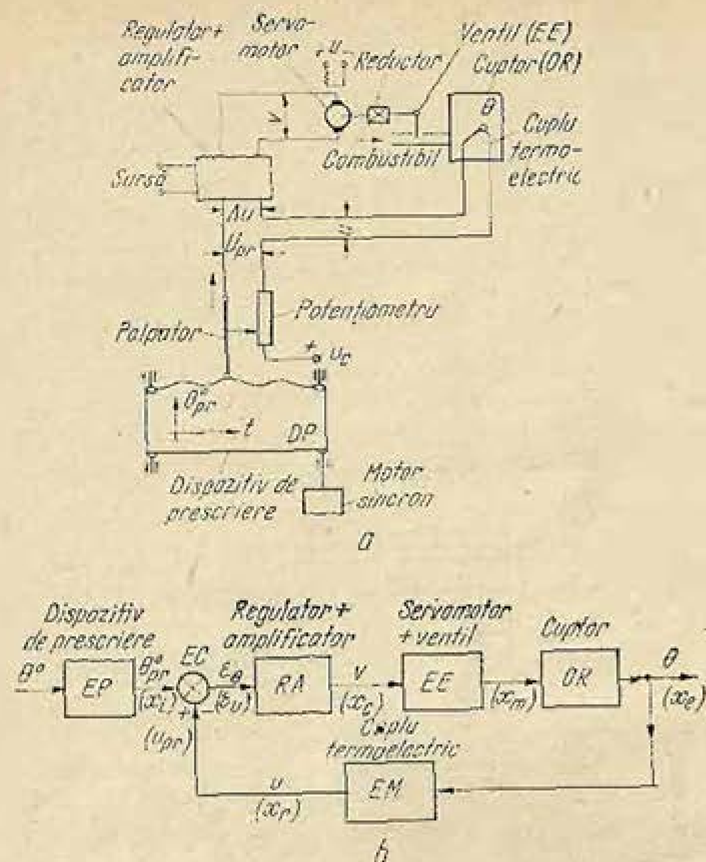


Fig. 9.7. Instalație de reglare automată:
a — schema de principiu a instalației de reglare; *b* — schema ei funcțională.

În schema funcțională a unui *SRA* se indică mărimile de intrare și de ieșire ale fiecărui element. Pentru fiecare element din schemă semnalul se transmite în sens unic, de la intrarea elementului la ieșirea acestuia. În acest fel, pentru fiecare bloc se stabilește o dependență strictă a mărimii de la ieșire de variația mărimii de la intrarea elementului respectiv.

Se obișnuiește a se reprezenta schema funcțională prin înșiruirea elementelor componente ale *SRA*, în ordinea strictă a legăturilor funcționale între ele. De exemplu, pentru instalația de reglare automată din figura 9.4, schema funcțională este reprezentată în figura 9.5 (reprezentare valabilă și pentru celelalte *SRA*).

Obiectul reglării (procesul sau instalația tehnologică reglată), la ieșirea căruia se obține mărimea de ieșire x_e (în cazul de față temperatura apei la ieșire, θ_e) este supus influenței mărimilor perturbatoare X din exterior, sub acțiunea cărora se produc variații ale mărimii reglate. În cazul sistemului din figura 9.4, mărimea perturbatoare este variația debitului de apă caldă D_q consumat.

În figurile 9.6, 9.7 și 9.8 sînt reprezentate alte instalații tehnologice reglate și schemele funcționale respective, semnificația elementelor *SRA* fiind aceeași ca și în cazul instalației de reglare ce a fost prezentată detaliat.

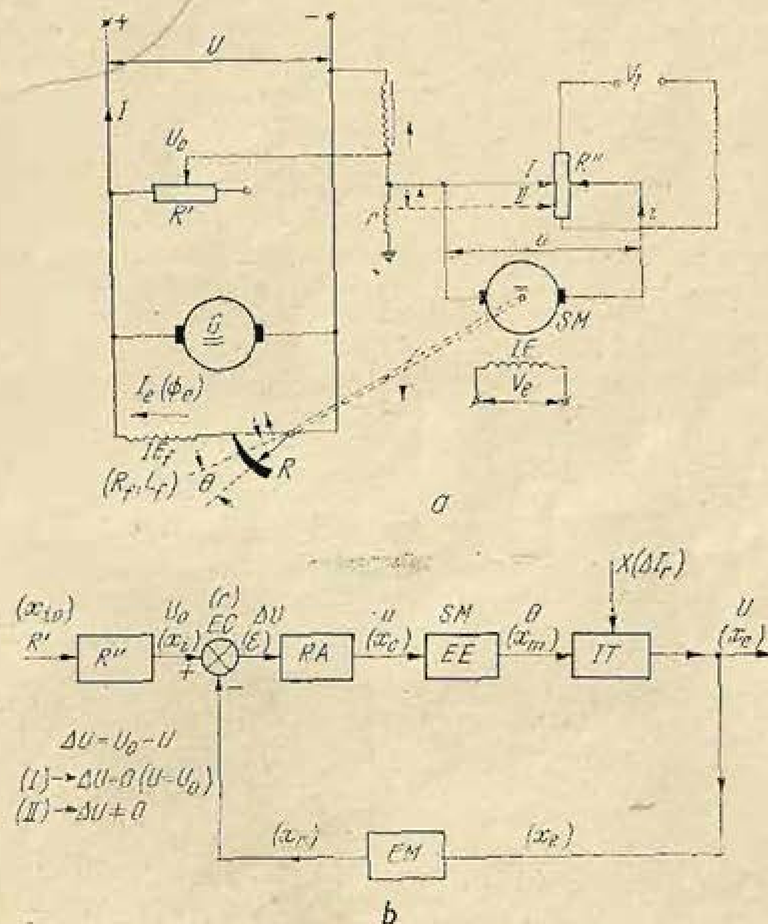


Fig. 9.8. Instalație de reglare automată:
a — schema de principiu a instalației de reglare; *b* — schema ei funcțională.

C. CLASIFICAREA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Sistemele de reglare automată se pot clasifica în funcţie de felul variaţiei mărimii de la intrare, în funcţie de viteza de variaţie a mărimii reglate (sau viteza de răspuns), în funcţie de numărul mărimilor reglate, după tipul acţiunii regulatorului automat şi în funcţie de numărul buclelor de reglare.

• **În funcţie de aspectul variaţiei în timp a mărimii de intrare** x_i (deci după variaţia în timp impusă mărimii de ieşire x_e) se deosebesc:

— *sisteme de stabilizare automată* (cînd x_i = ct — de exemplu menţinerea constantă a unui parametru — ca în figura 9.9, *a*) acestea se mai numesc *SRA cu consemn constant* sau *cu program fix*;

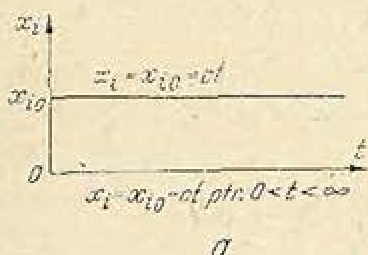
— *sisteme de reglare automată cu program variabil* (cînd x_i variază în timp după o lege prestabilită — de exemplu la cuptoarele industriale pentru tratamente termice — ca în figura 9.9, *b*); acestea se mai numesc *SRA cu consemn programat*;

— *sisteme de reglare automată de urmărire* (cînd x_i variază în funcţie de un parametru din afara *SRA*, legea de variaţie în timp a acestui parametru nefiind cunoscută dinainte); mărimea de la ieşire x_e urmăreşte variaţia lui x_i.

• **În funcţie de viteza de răspuns a obiectului reglării la un semnal x_i aplicat la intrare** se deosebesc:

— *SRA pentru procese lente* (cele mai răspîndite instalaţii sau procese tehnologice industriale caracterizîndu-se printr-o anumită inerţie), ca, de exemplu, cel din figura 9.4;

— *SRA pentru procese rapide*, cum sînt sistemele de reglare automată aplicate maşinilor şi acţionărilor electrice (de exemplu, reglarea turaţiei motoarelor, reglarea tensiunii generatoarelor etc.).



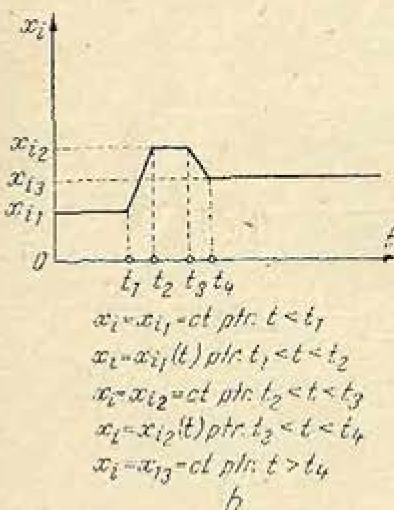


Fig. 9.9. Variaţia mărimii de la intrarea *SRA*:

a — *SRA* cu program fix (sau consemn constant); *b* — *SRA* cu program variabil (sau consemn programat).

• **După numărul mărimilor de ieşire ale obiectului reglat** asupra cărora se exercită acţiunea de reglare automată, se deosebesc:

— *SRA cu o singură mărime reglată* (sau *SRA convenţionale*);

— *SRA cu mai multe mărimi reglate simultan* (sau *SRA multivariabile*).

• **După tipul acţiunii regulatorului automat** se deosebesc:

— *SRA cu acţiune continuă*, la care mărimea de ieşire a fiecărui element component al sistemului este o funcţie continuă de mărimea sa de intrare. Aceste *SRA* cônţin fie regulatoare liniare, la care dependenţa $x_c = f(\varepsilon)$ este liniară, fie regulatoare neliniare, la care această dependenţă este neliniară;

— *SRA cu acţiune discontinuă (discretă)*, la care mărimea de la ieşirea regulatorului este reprezentată de o succesiune de impulsuri de reglare, fie modulate în amplitudine sau durată (cazul regulatoarelor cu impulsuri), fie codificate (cazul regulatoarelor numerice).

• **În funcţie de numărul buclelor de reglare** se deosebesc:

— *SRA cu o buclă de reglare* (sau cu un singur regulator automat);

— *SRA cu mai multe bucle de reglare* (sau cu mai multe regulatoare automate).

SRA cu mai multe bucle de reglare pot fi *sisteme de reglare în cascadă*, care cuprind mai multe regulatoare automate, cu ajutorul cărora, pe lîngă mărimea de ieşire x_e, sînt reglate şi alte mărimi intermediare din cuprinsul instalaţiei sau procesului reglat, şi *sisteme de reglare combinată*, în care, pe lîngă regulatorul automat principal se prevăd unul sau mai multe regulatoare suplimentare, care intră în funcţiune numai la apariţia anumitor acţiuni perturbatoare.

Rezumat

• **Reglarea automată** reprezintă un proces (funcţie de automatizare) în care o mărime (parametrul reglat) este adusă la o valoare prescrisă (de consemn) şi este menţinută la această valoare prin intervenţii continue sau discontinue, pe baza măsurării abaterii (sau erorii).

• **Un sistem de reglare automată** (prescurtat *SRA*) reprezintă ansamblul format din obiectul reglării automate, regulatorul automat și celelalte elemente necesare pentru îndeplinirea funcției de reglare.

• **Elementele componente ale unui** *SRA* sînt: *obiectul reglării* (instalația tehnologică sau procesul reglat), *regulatorul automat*, *elementul de comparație* (sau comparatorul diferențial), *elementul de măsurat* (traductorul) și *elementul de execuție*.

• Se numește **schemă funcțională** a unui *SRA* acea schemă în care se indică elementele componente ale sistemului de reglare automată, destinația lor și legăturile funcționale între ele. Elementele *SRA* se reprezintă prin blocuri funcționale, figurate prin dreptunghiuri, avînd cîte o mărime la intrare și o mărime la ieșire. Schema funcțională cuprinde legătura directă (sau principală) și legătura inversă (sau calea de reacție).

• În funcție de aspectul variației în timp a mărimii de intrare x_i, *SRA* pot fi *sisteme de stabilizare automată* (sau cu consemn constant), *sisteme de reglare cu program variabil* (sau cu consemn programat) și *sisteme de reglare automată de urmărire*.

Capitolul 10

ELEMENTELE SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

A. TRADUCTOARE

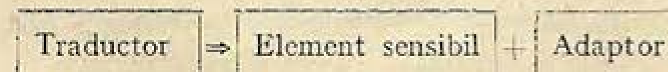
1. Noțiuni generale

Pentru măsurarea mărimilor fizice care intervin într-un proces tehnologic este necesară, de cele mai multe ori, convertirea („traducerea") acestora în mărimi de altă natură fizică, convenabile pentru celelalte elemente din cuprinsul *SRA*. De exemplu, o temperatură sau o presiune sînt convertite în mărimi de natură electrică — tensiune, curent electric — proporționale cu mărimile inițiale, care pot fi utilizate și prelucrate de celelalte elemente de automatizare ale *SRA* (comparatoare, reglatoare automate etc.).

Se numește **traductor** *acel element al SRA care realizează convertirea unei mărimi fizice — de obicei neelectrică — în mărime de altă natură fizică — de obicei electrică — proporțională cu prima sau dependentă de aceasta, în scopul utilizării într-un sistem de automatizare.*

Există o largă varietate de traductoare, structura lor fiind mult diferită de la un tip de traductor la altul. Se poate stabili însă o structură generală a unui traductor, ca în figura 10.1.

Mărimea de la intrarea traductorului x_i (reprezentînd valori de temperatură, presiune, forță, turație, nivel etc.) este convertită („tra-



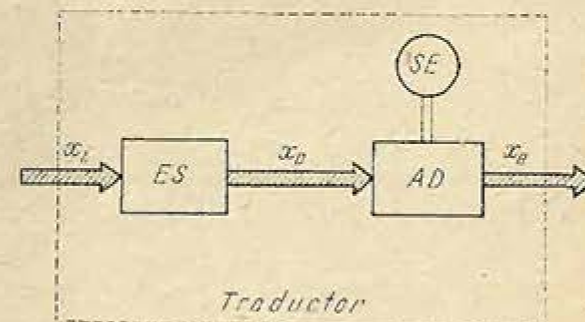


Fig. 10.1. Structura generală a unui traductor.

dusă") de către elementul sensibil *ES* într-o mărime intermediară x_0 (de exemplu o deplasare liniară, o rotație etc.), care se aplică adaptorului *AD*. Acesta transformă mărimea x_0 în mărimea de ieșire, x_e, de obicei de natură electrică (tensiune, curent, rezistență, inductanță etc.) introdusă astfel în circuitul de reglare. În cazul particular al *SRA* unificate (cu semnal standard, atît ca natură, cît și ca nivel) — de exemplu, sistemul unificat E — *IEA*, fabricat în țară — adaptoarele au rolul de a converti o mărime de ieșire oarecare într-un semnal unificat (de exemplu, semnalul de curent unificat: 2—10 mA sau 4—20 mA sau cel de presiune unificată 0,2—1 kgf/cm² = (0,2—1)9,80665 N/cm²).

De obicei, adaptorul cuprinde și sursa de energie *SE* (fig. 10.1) necesară pentru convertirea mărimii x_0 în mărimea dorită la ieșire x_e.

2. Caracteristicile generale ale traductoarelor

Indiferent de tipul traductorului utilizat, se pot stabili următoarele caracteristici generale, valabile pentru orice traductor:

— *natura fizică a mărimilor de intrare și de ieșire* (curent, tensiune electrică, rezistență electrică, presiune, temperatură, debit, nivel etc.);

— *puterea consumată la intrare* (de obicei, o putere mică sau foarte mică, de ordinul cîtorva wați sau miliwați sau chiar mai puțin). Consumul propriu fiind, de regulă, neglijabil, înseamnă că puterea transmisă elementului următor este insuficientă pentru a determina o acționare; de aceea, în schemele de automatizare un traductor este urmat, aproape întotdeauna, de un amplificator;

— *caracteristica statică a traductorului*, care reprezintă grafic dependența $x_e = f(x_i)$ dintre mărimile de ieșire, respectiv de intrare ale traductorului (fig. 10.2). După tipul traductorului, această variație poate reprezenta o funcție liniară sau neliniară, continuă sau discontinuă (cu valori discrete);

— *domeniul de măsurare*, definit de pragurile superioare de sensibilitate $x_{i\,max}$ și $x_{e\,max}$ și de cele inferioare $x_{i\,min}$ și $x_{e\,min}$ (în figura 10.2 s-a presupus $x_{i\,min} = 0$);

— *panta absolută* (sau *sensibilitatea*) K_a, reprezentînd raportul dintre variațiile mărimilor de ieșire Δx_e, respectiv de intrare Δx_i (fig. 10.2):

$$K_a = \frac{\Delta x_e}{\Delta x_i}; \qquad (10.1)$$

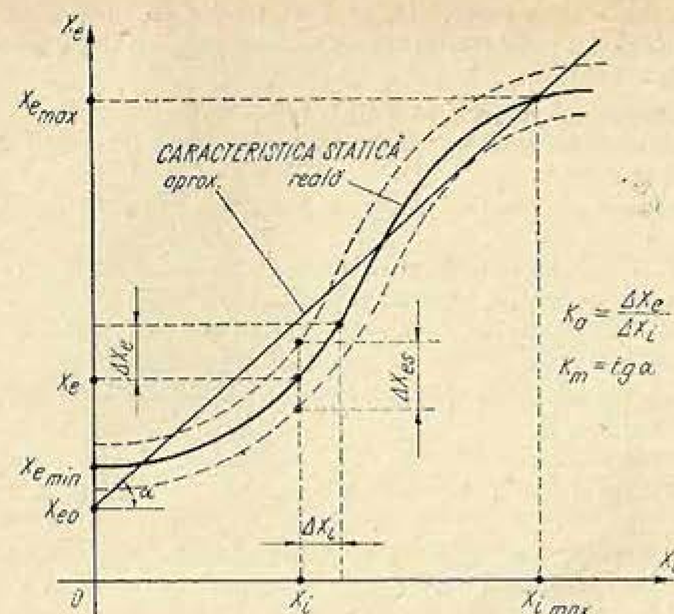


Fig. 10.2. Caracteristica statică a unui traductor.

— *panta medie* (K_m), reprezentînd coeficientul unghiular (panta) al dreptei care aproximează caracteristica statică reală a traductorului (fig. 10.2):

$$K_m = \operatorname{tg} \alpha \approx K_a. \qquad (10.2)$$

3. Clasificarea traductoarelor

Întrucît circuitele de automatizare cel mai des folosite sînt de natură electrică, mărimea de ieșire a traductoarelor este aproape exclusiv de natură electrică.

Clasificarea traductoarelor poate fi făcută în *funcție de natura mărimii de ieșire* x_e sau *în funcție de natura mărimii de intrare* x_i.

• **În funcție de natura mărimii electrice de la ieșire** x_e se deosebesc:

— *traductoare parametrice*, la care mărimea măsurată este transformată într-un „parametru de circuit electric" (rezistență, inductanță sau capacitate). Traductoarele parametrice se împart, la rîndul lor, în: *traductoare rezistive*, *traductoare inductive* și *traductoare capacitive*;

— *traductoare generatoare*, la care mărimea măsurată este transformată într-o tensiune electromotoare, a cărei valoare depinde de valoarea mărimii respective.

• **În funcție de natura mărimii aplicate la intrare** (x_i) se disting:

— *traductoare de mărimi neelectrice* (temperatură, deplasare, debit, viteză, presiune etc.);

— *traductoare de mărimi electrice* (curent, frecvență, putere, fază etc.).

În practică, traductoarele sînt definite pe baza ambelor criterii arătate mai sus (de exemplu, traductor parametric rezistiv de temperatură). În figura 10.3 se prezintă o schemă generală de clasificare a traductoarelor uzuale.

• **În funcție de domeniul de *variație* al mărimii de ieșire**, traductoarele se clasifică în:

— *traductoare unificate* — la care mărimea de ieșire reprezintă un semnal unificat electric (2—10 mA sau 4—20 mA), sau pneumatic (0,2—1 kgf/cm² = (0,2—1)9,80665 N/cm²); aceste traductoare se utilizează în sistemele de reglare automată cu elemente unificate;

— *traductoare neunificate*.

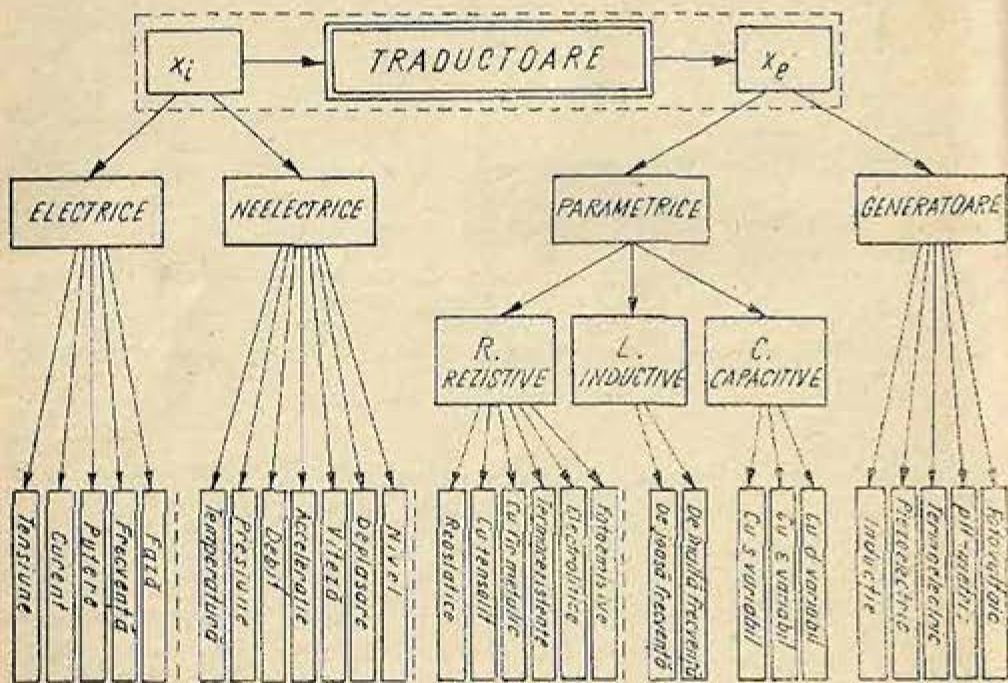


Fig. 10.3. Clasificarea traductoarelor.

4. Exemple de traductoare

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva exemple de traductoare fabricate în țară.

• **Traductor inductiv de presiune cu tub Bourdon.** Elementul sensibil al traductorului de presiune este un tub Bourdon T (fig. 10.4), care sub acțiunea presiunii de măsurat p tinde să se îndrepte (poziția punctată în figură). Odată cu creșterea presiunii p aplicate, punctul a din capătul liber al tubului se îndepărtează (de exemplu în a'), astfel că, prin intermediul bilei B, manivela M este rotită în jurul punctului c cu unghiul α.

Rotirea este aplicată modulatorului magnetic din adaptorul tip ELT 370 care produce la ieșire semnalul unificat $i = 2 ... 10$ mA c.c. proporțional cu presiunea măsurată p.

• **Traductor inductiv de presiune diferențială cu burdufuri.** Elementul sensibil al traductorului este format dintr-o capsulă închisă M (fig. 10.5, *a*) în care, prin peretele de separare D, se creează două compartimente C_1 și C_2, alimentate cu presiunea p_1, respectiv p_2. Cele două presiuni, a căror diferență ($\Delta p = p_1 - p_2$) trebuie măsurată, acționează asupra unor burdufuri B_1 și B_2, rigidizate între ele prin tija T și care sprijinindu-se fiecare pe peretele despărțitor acționează ca niște resoarte spirale la deplasarea lor (B_1 se comprimă, iar B_2 se întinde). Cele două burdufuri fiind identice, forța rezultantă ΔF creată de cele două presiuni va fi proporțională cu diferența *presiunilor* respective.

În acest fel deplasarea longitudinală d a tijei va fi proporțională cu forța ΔF, deci cu presiunea diferențială Δp.

Tija T, prevăzută cu opritorul reglabil O, acționează asupra manivelei rotind axul A cu unghiul α. În acest mod se transformă deplasarea d

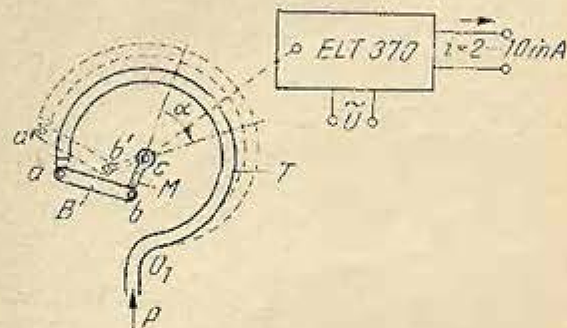


Fig. 10.4. Traductor de presiune cu tub Bourdon.

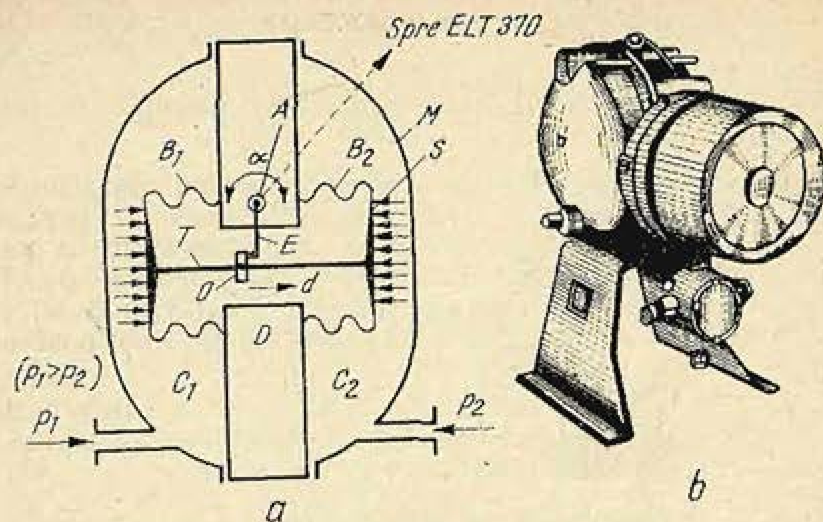


Fig. 10.5. Traductor de presiune diferențială cu burdufuri: a — schema funcțională; b — aspectul exterior.

(proporțională cu Δp) într-un unghi α și, deoarece axul A este solidar cu modulatorul magnetic din adaptorul ELT 370, se obține un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mA c.c., proporțional cu diferența presiunilor. În figura 10.5, b este prezentat aspectul exterior al acestui traductor, denumit AT 30 ELT 370.

• **Traductorul capacitiv pentru măsurarea presiunii unui fluid.** Traductorul capacitiv pentru măsurarea presiunii unui fluid (fig. 10.6) este format din armătura fixă A_1 și armătura mobilă A_2, solidară cu membrana elastică M. Cînd presiunea p crește, distanța d între armături scade, deci valoarea capacității C_x a condensatorului variabil crește, proporțional cu creșterea presiunii fluidului din conducta C.

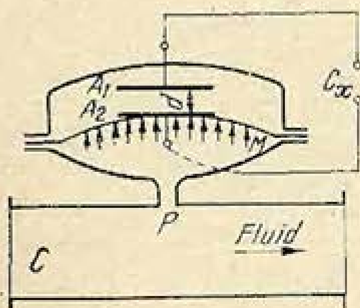


Fig. 10.6. Traductorul capacitiv pentru măsurarea presiunii unui fluid.

B. AMPLIFICATOARE

1. Noțiuni generale

După cum s-a văzut, mărimile obținute la ieșirea elementului de măsurat (traductor) au în majoritatea cazurilor valori reduse; pentru a le utiliza, este necesară mărirea lor proporțională, adică amplificarea lor.

Amplificatorul *este acel element al SRA la care mărimea de intrare de o putere (sau nivel) relativ mică poate comanda continuu o mărime de ieșire avînd o putere (sau nivel) mult mai mare, folosind pentru aceasta o sursă auxiliară de energie.* Amplificatorul realizează, deci, o amplificare, de obicei de putere, uneori de modul (nivel).

În figura 10.7 este reprezentată schema-bloc a unui amplificator. La intrarea amplificatorului se aplică mărimea de intrare i care are rolul de a varia „rezistența de trecere" a energiei (rezistență de tip ohmic în circuite electrice, de tip hidraulic sau pneumatic în cele fluidice) de la sursă spre ieșirea e.

2. Clasificarea amplificatoarelor

În figura *10.8* se prezintă clasificarea amplificatoarelor *în funcție de natura mărimii furnizate de sursa de energie, principiul de realizare și modul de interdependență intrare—ieșire.*

• **După natura mărimii fizice furnizate de sursa auxiliară de energie,** amplificatoarele se împart în (fig. 10.8):

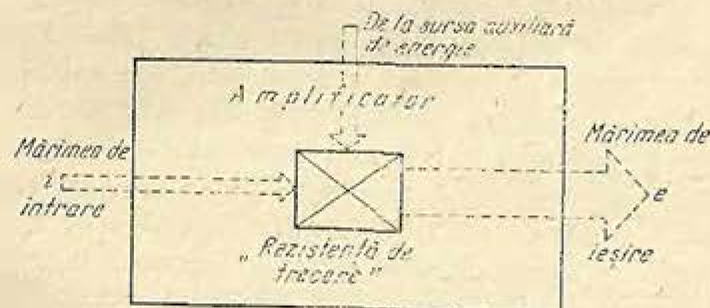


Fig. 10.7. Schema-bloc a unui amplificator.

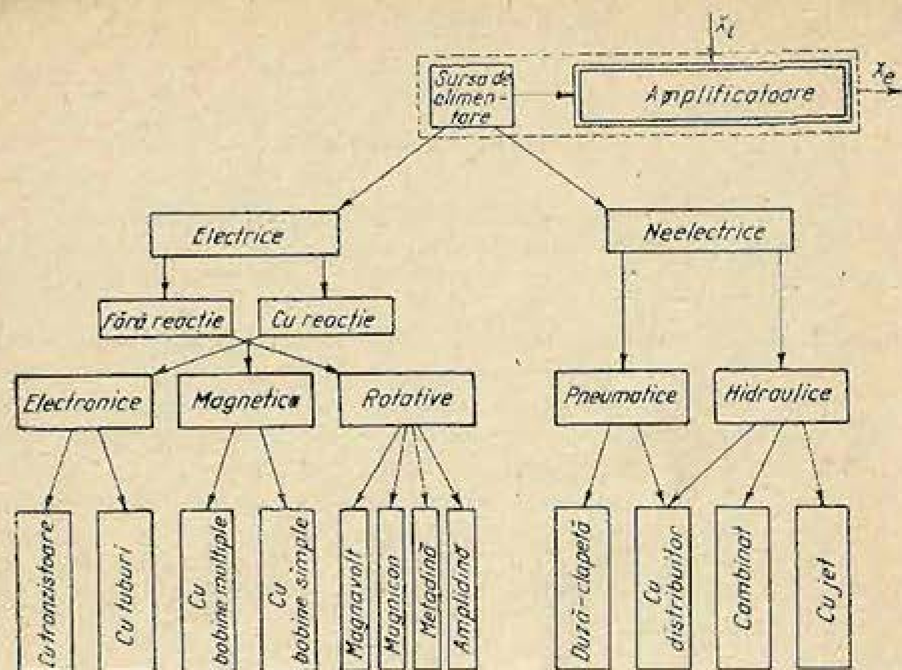


Fig. 10.8. Clasificarea amplificatoarelor.

— *amplificatoare de mărimi electrice (electronice, magnetice, rotative* etc.*)*;

— *amplificatoare de mărimi neelectrice (pneumatice și hidraulice)*.

• **După modul de interdependență intrare—ieșire** se deosebesc:

— *amplificatoare fără reacție*, la care mărimea de ieșire depinde de mărimea de intrare numai pe baza legăturii „directe" *(intrare—ieșire)*. Reprezentarea schematică a unui astfel de amplificator este dată în figura 10.9, *a*, iar dependența mărimii de ieșire de cea de intrare, cunoscută sub denumirea de *caracteristică statică*, în figura 10.9, *b*;

— *amplificatoare cu reacție*, la care mărimea de ieșire depinde atît de mărimea de intrare, cît și de o mărime „de reacție" r transmisă de la ieșire înapoi la intrare printr-o legătură „inversă" (ieșire—intrare), numită „de reacție". În figura 10.10 este reprezentată schema-bloc pentru un amplificator cu reacție.

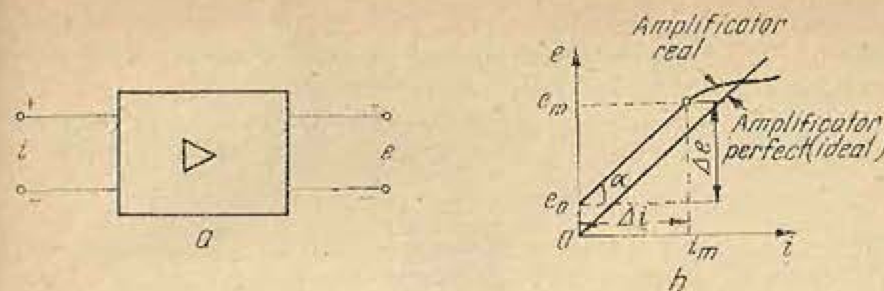


Fig. 10.9. Schema electrică a unui amplificator (*a*); caracteristica statică a amplificatorului (*b*).

Dacă mărimea de reacție r se adună cu cea de intrare i, mărind astfel semnalul total aplicat amplificatorului, reacția se numește *pozitivă* (fig. 10.10, *a*) iar dacă r se scade din i, reacția se numește *negativă* (fig. 10.10, *b*).

Problemele cele mai complexe le ridică amplificatoarele de mărimi electrice care, deși sînt principial și constructiv diferite între ele, posedă totuși anumite caracteristici generale comune.

3. Caracteristicile generale ale amplificatoarelor electrice

Realizarea unei dependențe în sensul strictei proporționalități între mărimea de ieșire e și mărimea de intrare i (deci, $e = K \cdot i$) deci funcționarea în regim de amplificator perfect (ideal) nu este practic posibilă. În realitate, caracteristica statică este o linie dreaptă numai pentru zona de funcționare normală, adică pînă în punctul la care cores-

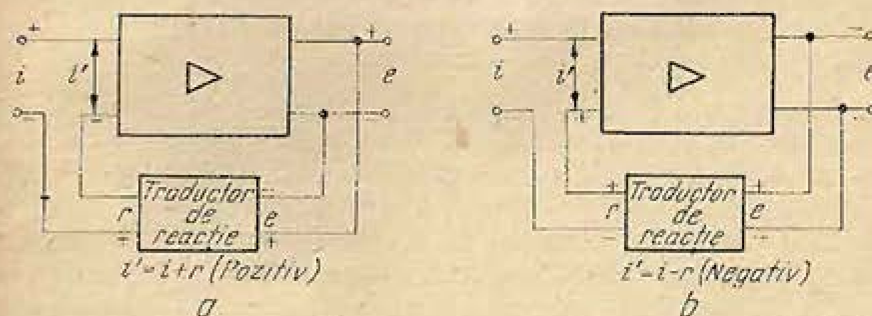


Fig. 10.10. Schema electrică a amplificatorului cu reacție: *a* — cu reacție pozitivă; *b* — cu reacție negativă.

punde mărimea de intrare maximă i_m şi mărimea de ieşire maximă e_m. Dincolo de acest punct, caracteristica prezintă fenomenul de *saturaţie* şi amplificatorul nu mai funcţionează corect.

Coeficientul unghiular K_a (coeficientul de proporţionalitate) al caracteristicii în domeniul liniar ($i < i_m$ şi $e < e_m$) este dat de relaţia:

$$K_a = \frac{\Delta e}{\Delta i} \tag{10.3}$$

şi poartă numele de *factor de amplificare, pantă* sau *sensibilitatea amplificatorului*. Amplificarea putînd fi de curent, de tensiune, de putere etc., factorul de amplificare ia denumirea corespunzătoare (*amplificare de tensiune, de putere* etc.).

Caracteristica statică nu trece prin originea axelor de coordonate, ci prezintă o ordonată la origine e_0, numită *valoare de funcţionare în gol*. Ea reprezintă, fizic, valoarea mărimii de ieşire, cînd intrarea este nulă. La amplificatoarele de radio (tip „audio"), valoarea de gol înseamnă un „semnal" sau „zgomot" la ieşire, chiar atunci cînd semnalul la intrare este zero. Din această cauză, valoarea de gol la aceste amplificatoare se mai numeşte şi *zgomotul de fond* sau *perturbaţia* amplificatorului.

Expresia analitică a caracteristicii statice a amplificatorului este:

$$e = K_a \cdot i + e_0, \tag{10.4}$$

unde K_a reprezintă panta, iar e_0 — valoarea de funcţionare în gol a amplificatorului.

4. Exemple de amplificatoare utilizate în schemele de automatizare

• **Amplificatoare electrice de curent continuu folosite în sistemul unificat „E" (IEA) fabricat în ţară.** Amplificarea directă a semnalelor de curent continuu este dificilă din punct de vedere tehnic, motiv pentru care sînt utilizate amplificatoarele de curent continuu cu „modulare-amplificare-demodulare", numite şi „cu eşantionare" sau „cu chopper".

În aparatura sistemului unificat „E" asimilat în fabricaţie indigenă sînt folosite două asemenea tipuri de amplificatoare de curent continuu, care diferă între ele numai prin construcţia modulatorului: *electronic* sau *magnetic*.

Amplificatorul electronic de curent continuu folosind modulator electronic (IEA tip H22), a cărui schemă principială este arătată în figura 10.11, cuprinde un modulator şi un demodulator cu funcţionări similare, avînd cîte două tranzistoare (T_1 şi T_2, respectiv T_3 şi T_4) funcţionînd în regim de comutaţie (complet blocat sau complet deschis) şi comandate „sincron" de un oscilator de frecvenţă constantă ($f_0 = 500$ Hz).

Un amplificator de curent alternativ format din trei tranzistoare (T_5, T_6, T_7) asigură procesul de amplificare a mărimii de intrare.

Amplificatorul electronic de curent continuu folosind modulator magnetic (IEA tip H11). Modulatorul magnetic cuprinde două miezuri magnetice toroidale dintr-un material feromagnetic special (permalloy), care, printr-o schemă adecvată, asigură la ieşire impulsuri dreptunghiulare de amplitudine constantă însă de durată proporţională cu tensiunea continuă U_i aplicată. Amplificatorul de curent alternativ, oscilatorul şi demodulatorul sînt identice cu cele din cazul precedent, astfel că se asigură, ca şi în primul caz, o tensiune de ieşire U_e continuă, amplificată în raport cu tensiunea U_i.

• **Amplificatoare pneumatice şi amplificatoare hidraulice, destinate amplificării semnalelor primite de la traductoarele pneumatice, respectiv hidraulice.** Acestea sînt amplificatoare de putere, realizînd cel mai adesea amplificări de forţe sau viteze sau a amîndurora (puterea fiind produsul între forţă şi viteză). Sursa auxiliară de energie folosită este aerul comprimat (pentru cele pneumatice), respectiv uleiul sub presiune

Fig. 10.11. Amplificator de c.c. cu modulator electronic.

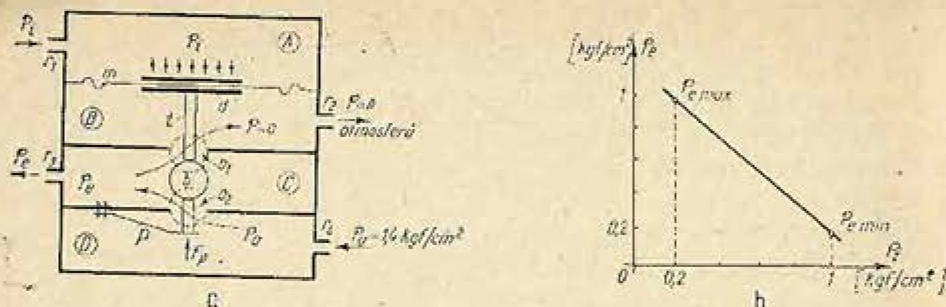


Fig. 10.12. Amplificator pneumatic de putere:
a — schema pneumatică; *b* — caracteristica statică.

(pentru cele hidraulice). În figura 10.12, *a*, este reprezentat, spre exemplificare, un amplificator pneumatic de putere. Acest tip de amplificator cuprinde un corp cilindric format din patru camere: *A*, *B*, *C* și *D*. Camerele *A* și *B* sînt despărțite prin membrana *m* din pînză cauciucată și rigidizată cu discurile metalice *d* solidare cu tija *t*.

Între camerele *B* și *C* se află un perete rigid cu un orificiu central o_1 prin care trece tija *t*. Între camerele *C* și *D* se află de asemenea un orificiu o_2, obturat de bila *b*, împinsă în sus de resortul plat *P*. Cele patru camere au racorduri exterioare cu următoarele funcții:

— camera *A*, racordul r_1 pentru presiunea de intrare p_i;

— camera *B*, racordul r_2 pentru legătura cu exteriorul ($p = 0$);

— camera *C*, racordul r_3 pentru presiunea de ieșire p_e;

— camera *D*, racordul r_4 pentru presiunea de alimentare p_a ($p_a = 1{,}4$ kgf/cm²*) $= ct$).

Amplificatorul prezentat „defazează" semnalul de intrare p_i cu 180°, adică atunci cînd p_i crește, p_e scade.

Funcționarea amplificatorului are loc în felul următor:

— cînd presiunea de intrare p_i are valoarea minimă $p_i = p_{i\,min} = 0{,}2$ kgf/cm² (nivelul minim al semnalului pneumatic unificat), resortul *P* împinge bila *b* în sus pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_1. În acest caz, rezistența pneumatică de trecere a orificiului o_2 este minimă, astfel că presiunea de ieșire p_e capătă valoarea maximă ($p_e = p_{e\,max}$) obținută de la presiunea de alimentare p_a;

* 1 kgf/m² = 9,80665 N/m²

— cînd presiunea de intrare p_i are valoarea maximă $p_i = p_{i\,max} = 1$ kgf/cm² (nivelul maxim al semnalului pneumatic unificat) forța F_p a resortului *P* este învinsă, bila *b* fiind împinsă în jos (prin tija *t*) pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_2. Rezistența pneumatică de trecere a orificiului o_1 este minimă, astfel că presiunea de ieșire p_e capătă valoarea minimă ($p_e = p_{e\,min}$), prin legarea circuitului de ieșire direct cu atmosfera ($p = 0$);

— în sfîrșit, pentru valori intermediare ale presiunii p_i(0,2 — 1 kgf/cm²), bila *b* ocupă o poziție intermediară astfel că presiunea *p* capătă o valoare intermediară între $p_a = 1{,}4$ kgf/cm² și $p = 0$ (atmosferă) datorită legării simultane a camerelor *B*, *C* și *D* prin rezistențele pneumatice de trecere a aerului prin orificiile o_1 și o_2.

În figura 10.12, *b* este arătată caracteristica statică a acestui amplificator, din care se observă defazarea semnalului de intrare (cînd p_i crește, p_e scade și invers).

C. REGULATOARE

1. Noțiuni generale. Elementele componente ale regulatoarelor automate

Într-un sistem de reglare automată, dispozitivul de automatizare poartă numele de *regulator automat*.

Regulatorul este *acel element de automatizare la intrarea căruia se aplică o mărime numită eroare (sau abatere) ε și la a cărui ieșire rezultă mărimea de comandă x_c, care determină acționarea elementului de execuție*.

Măsurarea erorii (sau abaterii ε) — care reprezintă diferența dintre valoarea mărimii controlate de regulator și valoarea prescrisă (dinainte stabilită) a acesteia, numită *consemn* — se realizează cu ajutorul unor traductoare și elemente de comparație.

Prin însăși construcția regulatorului se asigură o asemenea dependență între mărimea de comandă x_c și eroarea ε, încît, ca urmare a acțiunii elementului de execuție comandat de regulator să se obțină fie anularea abaterii, fie menținerea acesteia între limite dinainte stabilite, îndeplinindu-se astfel funcția de reglare.

Cu toate că există o mare varietate de tipuri de regulatoare, schema-bloc a oricărui regulator conține următoarele elemente componente (fig. 10.13):

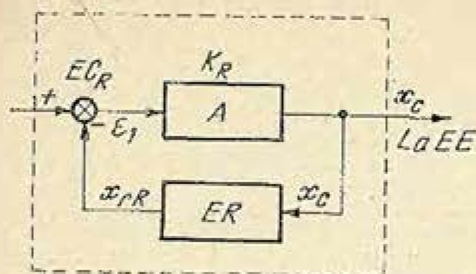


Fig. 10.13. Schema-bloc cu elementele componente ale unui regulator automat:

A — amplificator; *ER* — element de reacție; EC_R — element de comparare al regulatorului.

— *amplificatorul;*
— *elementul de comparare;*
— *elementul de reacție.*

• **Amplificatorul,** notat cu *A* în figura 10.13, este elementul de bază al regulatorului. El amplifică mărimea ε_1 de la intrare cu un factor K_R, deci realizează o dependență de tipul:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon_1(t), \tag{10.5}$$

unde K_R reprezintă factorul de amplificare al regulatorului.

• **Elementul de reacție,** notat în figură cu *ER*, primește la intrare mărimea de comandă x_c (de la ieșirea amplificatorului) și elaborează la ieșire un semnal x_{rR}, denumit *mărime de reacție a regulatorului.* Elementul de reacție al regulatorului determină o dependență proporțională între x_{rR} și x_c (el poate fi un traductor, o rețea de corecție pasivă etc.).

• **Elementul de comparare al regulatorului,** notat cu EC_R, efectuează continuu compararea valorilor abaterii ε și a lui x_{rR} după relația:

$$\varepsilon_1(t) = \varepsilon(t) - x_{rR}(t). \tag{10.6}$$

Mărimea de comandă x_c se aplică elementului de execuție *EE* al SRA.

2. Clasificarea regulatoarelor

Clasificarea regulatoarelor se poate face după mai multe criterii, dintre care vor fi amintite cele mai importante (figura 10.14).

• **După tipul acțiunii,** pot fi *regulatoare cu acțiune continuă* și *regulatoare cu acțiune discretă* (sau *discontinue*).

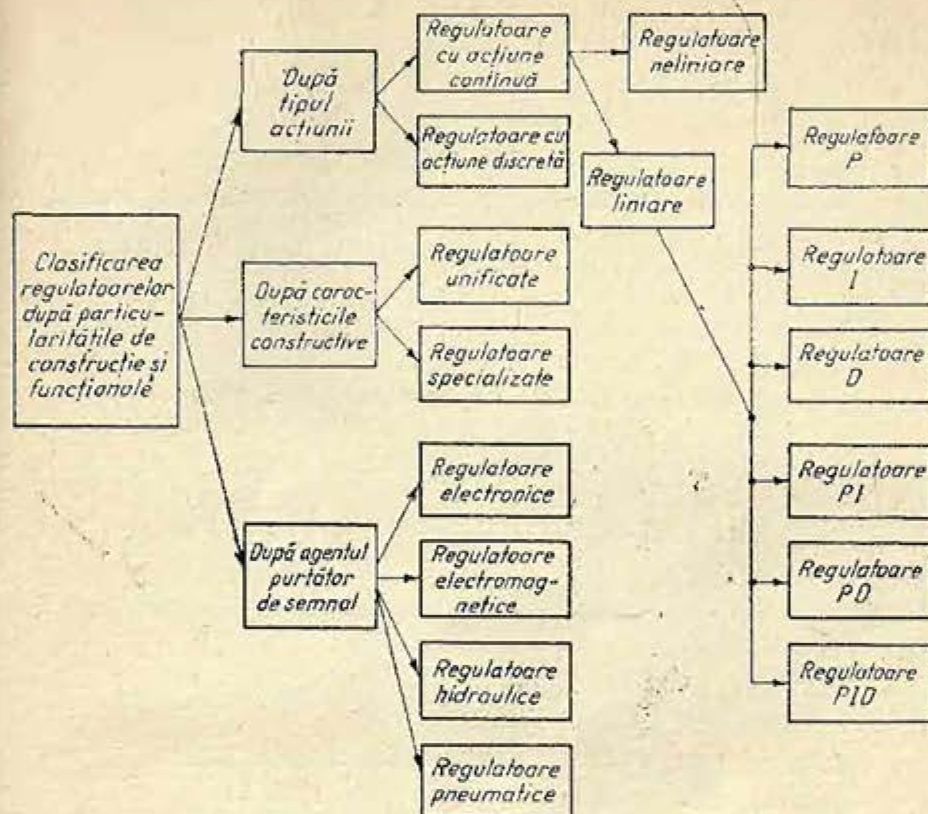


Fig. 10.14. Clasificarea regulatoarelor automate.

Regulatoare cu acțiune continuă sînt cele în care mărimile $\varepsilon(t)$ și $x_c(t)$ variază continuu în timp (mărimi analogice); dacă dependența dintre cele două mărimi este liniară (în sensul proporționalității), regulatorul se numește *liniar,* iar dacă este neliniară — regulator *neliniar.*

Regulatoarele cu acțiune discretă (sau *regulatoarele discontinue*) sînt cele la care mărimea $\varepsilon(t)$, deci și $x_c(t)$, reprezintă un tren de impulsuri; la aceste regulatoare există o relație discontinuă între abatere și mărimea de execuție.

• **După caracteristicile constructive,** se deosebesc *regulatoare unificate* și *regulatoare specializate.*

Regulatoarele unificate se pot utiliza pentru reglarea a diferiți parametri (temperatură, presiune, debit etc.), iar cele specializate

— numai pentru o anumită mărime, caracteristică pentru un proces dat.

• **După agentul purtător de semnal**, regulatoarele sînt de tip *electronic, electromagnetic, hidraulic* sau *pneumatic*.

• **După viteza de răspuns**, *regulatoarele se clasifică în regulatoare pentru procese rapide*, folosite pentru reglarea automată a instalațiilor tehnologice care au *constante de timp mici* (mai mici de 10 s) și *regulatoare pentru procese lente*, folosite atunci cînd constantele de timp sînt mari (depășesc 10 s).

3. Regulatoare cu acțiune continuă liniare

O largă utilizare în automatizările industriale au regulatoarele cu *acțiune continuă* liniare. Acestea sînt regulatoare automate cu acțiune continuă (deci, la care mărimea de comandă este influențată în mod continuu de mărimea reglată și implicit, de eroare) pentru care legea de reglare, adică dependența dintre $x_c(t)$ și $\varepsilon(t)$, are un caracter strict liniar (proporțional).

Din clasificarea prezentată în figura 10.14, rezultă că regulatoarele continue liniare sînt de șase tipuri:

— regulatoare cu acțiune proporțională notate cu P

— regulatoare cu acțiune integrală, notate cu *I*;

— regulatoare cu acțiune diferențială, notate cu D;

— regulatoare cu acțiune proporțională-integrală, notate cu PI;

— regulatoare cu acțiune proporțională-diferențială, notate cu PD;

— regulatoare cu acțiune proporțional-integral-diferențială, notate cu PID.

• **Regulatoare cu acțiune proporțională** (P). Aceste regulatoare stabilesc, între mărimea de intrare în regulator $\varepsilon(t)$ și cea *de comandă* $x_c(t)$ o relație de proporționalitate:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon(t), \quad (10.7)$$

în care K_R este factorul de amplificare al regulatorului.

Uneori, în loc de factorul de amplificare K_R se folosește o altă constantă, denumită *banda de proporționalitate a regulatorului P*, care se notează cu *BP*. Cînd domeniul de variație al mărimii de acționare a

regulatorului (abaterea ε) este egal cu domeniul de variație al mărimii de comandă, domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{1}{K_R} 100\,(\%). \quad (10.8)$$

Regulatorul de tip *P* menține în regim staționar o eroare a cărei valoare depinde de sarcină. Acest regulator poate fi utilizat deci numai atunci cînd procesul reglat admite o asemenea abatere față de valoarea prestabilită a parametrului reglat.

În figura 10.15 este prezentată simplificat, spre exemplificare, reglarea automată a presiunii unui fluid utilizînd un regulator de tip *P* hidraulic, cu acțiune continuă, liniar. În acest exemplu, parametrul ce se reglează este presiunea fluidului din conducta *5*. Ansamblul regulator-element de execuție conține următoarele elemente: traductorul de reacție, elementul de prescriere, elementul de comparare, amplificatorul cu distribuitor, elementul de execuție.

Traductorul de reacție (elementul de măsurare) este format din membrană elastică *1* care convertește variațiile presiunii din conducta *5* în variații de deplasare liniară ale tijei fixate de membrană.

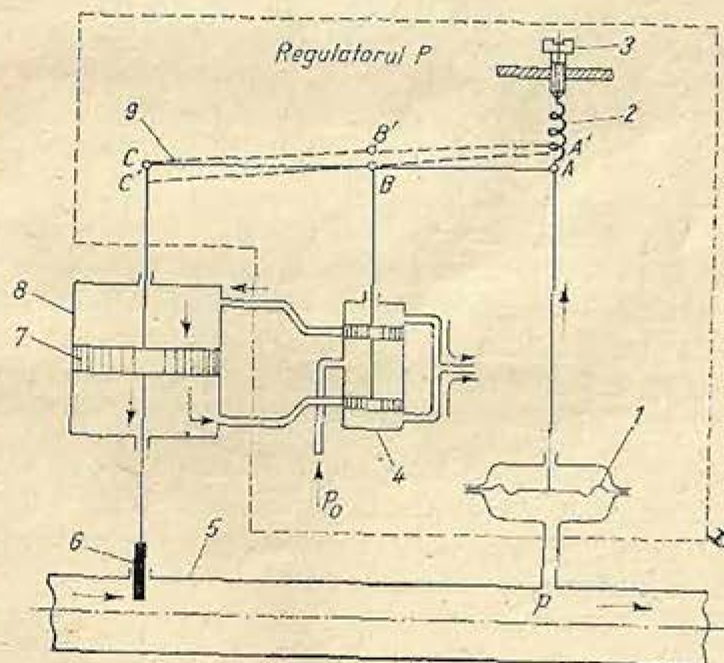


Fig. 10.15. Regulator P liniar cu acțiune continuă.

Elementul de prescriere 3 este elementul cu ajutorul căruia se fixează valoarea de consemn a presiunii din conductă. Prin intermediul resortului 2, elementul de prescriere deplasează punctul A al tijei ABC.

Elementul de comparare 9 este format din pîrghia ABC.

Amplificatorul de distribuitor 4 folosește ca sursă de energie exterioară un fluid cu presiune p_0. Existența acestui amplificator este legată de necesitatea elaborării semnalului capabil să acționeze pistonul 7 al elementului de execuție.

Elementul de execuție este format din cilindrul 8, pistonul 7 și clapeta de închidere 6.

Se presupune că inițial presiunea din conductă se află la valoarea nominală p_n (denumită și *valoare de consemn*) și că *la un moment dat are loc o creștere a presiunii* $p(p > p_n)$. În aceste condiții, se produc următoarele modificări în funcționarea dispozitivului;

— membrana 1 se deformează sub acțiunea presiunii p și tija de legătură cu membrana se deplasează în sus, comprimînd resortul 2; ca urmare, punctul A se deplasează în A';

— elementul de comparare 9 își modifică poziția și se stabilește după linia $A'B'C'$, antrenînd și tija cu pistonașe a amplificatorului 4;

— orificiul de legătură dintre amplificatorul 4 și elementul de execuție 8, din partea de sus a amplificatorului, se deschide puțin (deschiderea este cu atît mai mare, cu cît abaterea lui p de la valoarea p_n a fost mai mare) și fluidul sub presiunea p_0 intră pe fața superioară a pistonului 7, împingîndu-l în jos;

— clapeta 6 obturează mai mult din secțiunea de trecere a fluidului din conducta 5 și presiunea p scade, tinzînd spre p_n, în această situație, elementul de comparare revine la poziția ABC.

În cazul în care presiunea p ar fi scăzut față de valoarea nominală, respectiv $p < p_n$, acțiunea regulatorului ar fi fost inversă, tinzînd să ducă la creșterea lui ε.

• **Regulatoare cu acțiune integrală (I).** Denumirea de regulatoare cu acțiune integrală derivă de la dependența dintre mărimea de acționare (abaterea ε) și mărimea de comandă (x_c) pe care o realizează acest tip de regulatoare, și anume:

$$x_c(t) = K_I \int \varepsilon(t)\, dt. \qquad (11.9)$$

Se observă că mărimea de comandă (de la ieșirea regulatorului) depinde de integrala abaterii ε. Constanta K_I, care este fixată prin construcția regulatorului, se numește *factor de amplificare* al regulatorului I.

În loc de constanta K_I, se mai utilizează valoarea inversă a acesteia:

$$T_I = \frac{1}{K_I}, \qquad (10.10)$$

în care T_I se măsoară în unități de timp și se numește *constanta de timp de integrare.*

Regulatoarele cu acțiune integrală sînt mai puțin utilizate deoarece înrăutățesc stabilitatea funcționării și necesită o durată mai mare a procesului de reglare, în comparație cu cele proporționale.

• **Regulatoare cu acțiune diferențială (D).** Regulatoarele cu acțiune diferențială (D) realizează o lege de reglare în care mărimea de ieșire a regulatorului (sau mărimea de comandă) este proporțională cu derivata mărimii de intrare. Exprimarea matematică a legii de reglare a acestor regulatoare este:

$$x_c(t) = K_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt}. \qquad (10.11)$$

Se poate observa că mărimea de comandă este proporțională cu viteza de variație a erorii (sau a abaterii).

În relația (10.9) coeficientul K_D depinde de tipul de realizare constructivă a regulatorului și se numește *factor de amplificare* al regulatorului D.

La o modificare relativ monotonă a lui $\varepsilon(t)$, viteza de variație a abaterii ε crește mai repede decît abaterea, ceea ce face ca regulatorul D să acționeze mai rapid decît un regulator P (fig. 10.16).

Totodată, se observă că mărimea de comandă se manifestă într-un interval de timp limitat, avînd uneori forma unui impuls (fig. 10.16).

• **Regulatoare mixte**, în ceea ce privește modul de acționare, rezultă din combinarea mai multor regulatoare cu acționare P, D sau I, și anume:

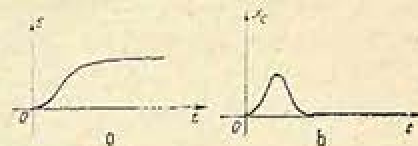


Fig. 10.16. Răspunsul regulatorului de tip D la o variație la intrare monotonă.

— *regulatoare PI* (o combinație între regulator proporțional și unul integral);

— *regulatoare PD* (o combinație între un regulator proporțional și unul diferențial);

— *regulatoare PID* (o combinație de regulatoare *P*, *I* și *D*).

Aceste regulatoare sînt cel mai des folosite; ele îmbină avantajele acționărilor simple de tip *P*, *I* sau *D* într-unul și același regulator.

4. Regulatoare unificate și sisteme unificate de reglare automată

Spre deosebire de instalațiile cu regulatoare specializate destinate, proiectate și construite numai pentru un anumit tip de instalație sau proces tehnologic, cele cu elemente de automatizare unificate se caracterizează prin stabilirea și utilizarea unui semnal standard, atît ca natură, cît și ca nivel. Ele au fost prevăzute nu numai cu regulatoare unificate, dar chiar cu elemente sau blocuri tip, cu semnale unificate, care îndeplinesc funcțiuni independente și se caracterizează prin faptul că mărimile (semnalele) de intrare și de ieșire ale fiecărui element sînt de aceeași natură fizică și au aceleași limite ale gamei (domeniului) de variație. Se realizează, astfel, sisteme unificate de reglare automată.

Combinarea diferită a regulatoarelor și elementelor de reglare unificate, cu structură funcțională și constructivă modulară, permite folosirea sistemelor unificate de reglare la automatizarea unor instalații cu caracteristici tehnologice diferite.

În țara noastră, se fabrică și se utilizează diferite regulatoare automate unificate. În general, aceste regulatoare se pot clasifica după cum urmează:

• **După agentul purtător de semnal,** regulatoarele unificate se împart în *regulatoare unificate pneumatice, hidraulice* și *electronice.*

În cazul *regulatoarelor unificate pneumatice*, semnalul unificat adoptat în general este presiunea de (2 ... 10)N/cm². La această presiune redusă, debitul de aer de lucru consumat este mic, viteza de propagare a semnalului este maximă, iar pericolul de condensare a vaporilor de apă, ca urmare a variațiilor de temperatură, este practic înlăturat.

În cazul *regulatoarelor unificate hidraulice* (cu ulei,) se adoptă presiunea uleiului de 15 N/cm² pentru alimentarea regulatorului, cu variații ale presiunii de comandă a uleiului între limitele 2 ... 11 N/cm².

În cazul *regulatoarelor unificate electronice*, semnalul unificat adoptat de majoritatea întreprinderilor constructoare de echipament automatizate este o mărime electrică (tensiune sau curent) continuă, de regulă, semnalul de curent unificat: 2—10 mA sau 4—20 mA.

Se extinde, în ultimii ani, folosirea *regulatoarelor unificate electrono-pneumatice* sau *electrono-hidraulice*, care conțin atît elemente electronice, cît și elemente fluidice (pneumatice sau hidraulice). Pentru conlucrarea acestor elemente, cu realizări constructive și principii de funcționare diferite, se introduc în schema de reglare convertoare electrono-pneumatice sau pneumo-electronice, respectiv electrono-hidraulice.

○ **Observația 1.** Nu se folosește un semnal electric alternativ, deoarece acesta ar implica o serie de dificultăți legate de influența impedanței circuitelor electrice, de defazajele produse, de necesitatea folosirii unor cabluri speciale etc.

○ **Observația 2.** Instalațiile sau procesele tehnologice reglate pot avea constante de timp diferite. Astfel, unele dintre ele se caracterizează prin constante de timp mari (reglarea temperaturii, reglarea debitului, nivelului, presiunii și concentrației la cazanele de abur etc.), pe cind altele, dimpotrivă, prin constante de timp reduse (reglări de viteză, poziție, reglarea tensiunii de excitație a generatoarelor electrice, reglarea turației motoarelor etc.). Primele se numesc *procese lente*, celelalte — *procese rapide.* În cadrul proceselor rapide, un loc important il ocupă instalațiile de curenți tari de tipul echipamentelor electroenergetice și al acționărilor electrice. Regulatoarele unificate vor avea deci caracteristici tehnice și constructive diferite, în funcție de procesul reglat, deoarece realizare constantelor de timp diferă de la un caz la altul.

• **În funcție de gama de variație a semnalului unificat electric** (limitele domeniului de variație), se întîlnesc două variante de regulatoare unificate:

— *cu nivel minim zero;*

— *cu nivel minim diferit de zero.*

În țara noastră au fost adoptate: varianta cu semnal de nivel minim zero pentru *sistemul electronic unificat UNIDIN*, destinat reglării proceselor rapide (semnalul unificat fiind o tensiune continuă de + 10 V, cu gama de variație 0 ... 10 V) și varianta cu semnal minim diferit de zero, pentru *sistemul electronic unificat ε-line IEA*, produs de Întreprinderea de Elemente de Automatizare București, destinat reglării proceselor lente (semnalul unificat fiind un curent continuu, cu gama de variație 2 ... 10 mA).

În figura 10.17 sînt reprezentate elementele componente ale sistemului unificat electronic UNIDIN fabricat în țară, destinat reglării proceselor rapide. Acest sistem unificat poate asigura reglarea diferiților

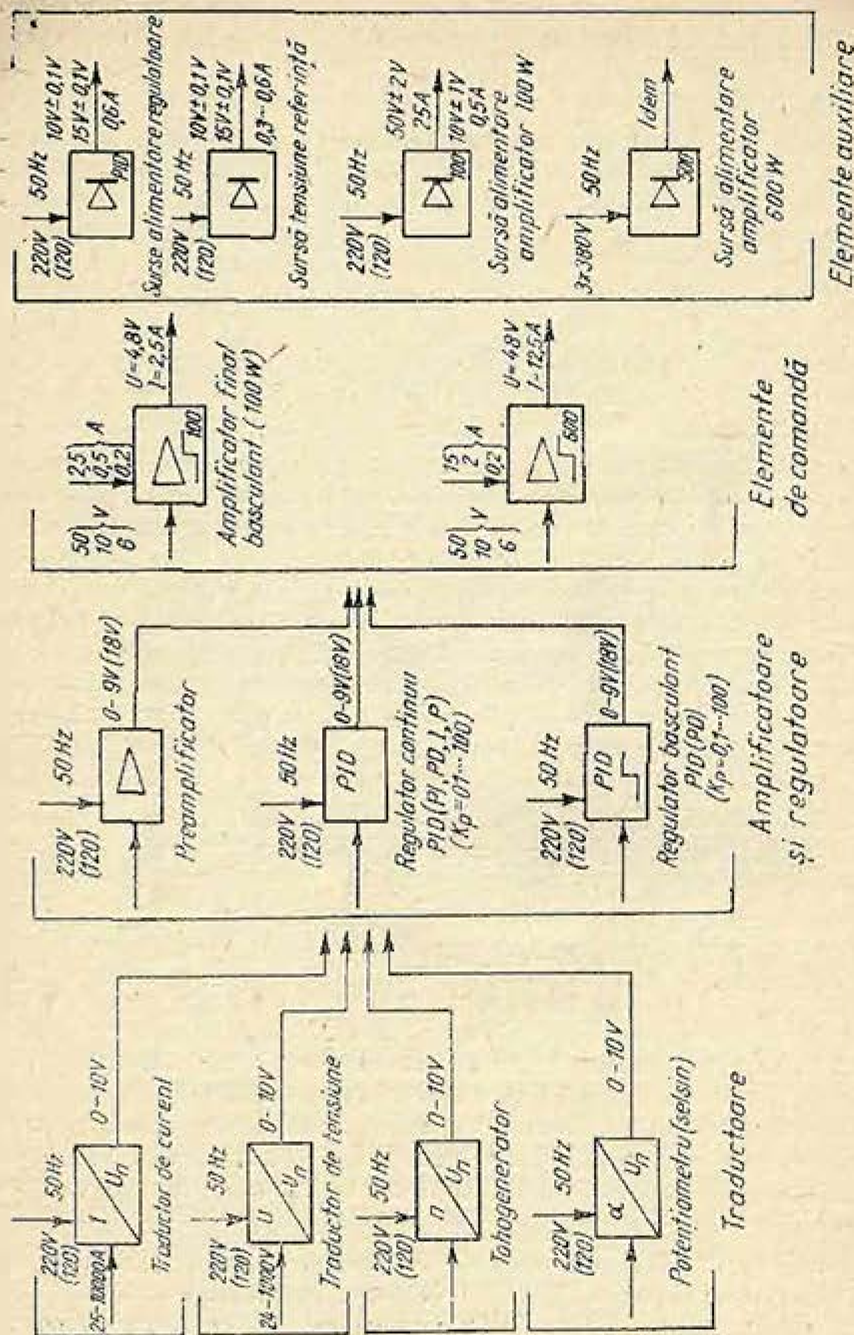


Fig. 10.17. Elementele componente ale sistemului unificat electronic „UNIDIN".

parametri: poziție, viteză, accelerație, curent, tensiune, curent de excitație etc.

Semnalul unificat este tensiunea continuă de ± 10 V (cu o rezervă pînă la ± 12 V). Semnalul de intrare poate fi adoptat la valoarea dorită cu ajutorul unor rezistențe reglabile. Acționarea dorită în regim dinamic de tip *P*, *PD*, *PI* sau *PID*) se obține prin aplicarea unei reacții *RC* adecvate amplificatorului de bază, care este un amplificator operațional tranzistorizat. Sistemul este prevăzut cu surse de tensiune stabilizate, este în întregime tranzistorizat și are circuite imprimate.

Regulatorul electronic unificat UNIDIN este un regulator tranzistorizat, folosit în reglarea proceselor rapide, de tipul acționărilor electrice. Legea de reglare este stabilită de circuitele de corecție alcătuite din rezistențe și capacități, care se aplică amplificatorului. În cazul în care este necesară o putere de ieșire mică, regulatorul este cu acțiune continuă; pentru puteri de ieșire mai mari el este de tip basculant.

Regulatorul *UNIDIN* poate realiza reglări de tipul *PI*, *PD* și *PID*.

Regulatoarele electronice cu semnal unificat de tipul ELC sînt regulatoare unificate continue, pentru procese lente și face parte din sistemul unificat de reglare „e-line" (IEA) produs de I.E.A. București. Ele permit realizarea unor legi de reglare *PI* sau *PID* și se construiesc în mai multe variante, toate avînd schema-bloc din figura 10.18.

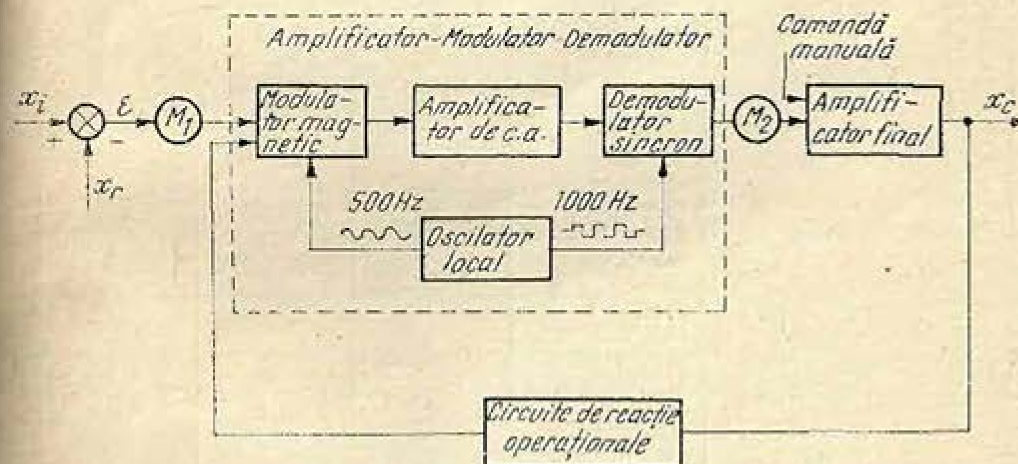


Fig. 10.18. Schema-bloc a regulatorului electronic cu semnal unificat tip ELC.

Regulatorul *ELC* conţine un amplificator operaţional cu modulare-demodulare. Modulatorul primeşte de la un oscilator local semnalul sinusoidal cu frecvenţa de 500 Hz. În afară de modularea semnalului de intrare, el îndeplineşte şi funcţia de element intern de comparaţie, însumînd algebric semnalul de eroare primit la ieşirea circuitului de reacţie operaţional.

Semnalul lent variabil rezultat este înfăşurătoarea unui semnal sinusoidal de 1 000 Hz ce apare la ieşirea modulatorului; semnul aces-

Tabelul 10.1

Caracteristicile regulatoarelor ELC (IEA)

Caracteristici tehnice	Regulatoare ELC 111	Regulatoare ELC 111 A	Regulatoare ELC 113	Regulatoare ELC 113 A
Posibilităţi de reglare	Manuală şi automată	Manuală şi automată	Manuală şi automată	Manuală şi automată
Legea de reglare	*PID*	*PI*	*PID*	*PI*
Gama de indicare	—	—	– 15% din intreaga scală în jurul valorii de referinţă	– 15% din intreaga scală în jurul valorii de referinţă
Precizia indicării	—	—	1%	1%
Banda de proporţionalitate	2 ... 200% în 24 de trepte	4 ... 400% în 24 de trepte	2 ... 200% în 24 de trepte	4 ... 400% în 24 de trepte
Timpul de integrare	10s ... 30 min, în 24 de trepte	1 ... 100 s în 24 de trepte	10s...20 min în 24 de trepte	1...100s în 24 de trepte
Mărimea de intrare	2 ... 10 mA curent continuu		0,4 ... 2 V curent continuu	
Mărimea de referinţă .	2 ... 10 mA curent continuu		0,4 ... 2 V curent continuu	
Mărimea de ieşire	2 ... 10 mA curent continuu			
Rezistenţa la sarcină	0 ... 3 kΩ			
Temperatura mediului ambiant	– 10°C pînă la + 45°C			
Timpul de derivare	5s ... 10 min. în 24 de trepte		5s ... 10min în 24 de de trepte	—
Tensiunea de alimentare	220V, 50 Hz	220 V, 50 Hz	220 V, 50 Hz	220 V, 50 Hz

tuia face ca el să fie în fază sau în opoziţie de fază cu semnalul dreptunghiular de 1 000 Hz furnizat de acelaşi oscilator local. Semnalul modulat se aplică blocului amplificator de c.a., format din trei etaje de amplificare, şi demodulatorului sincronic. La ieşirea acestuia se obţine o tensiune continuă proporţională cu semnalul de 1 000 Hz al modulatorului şi a cărei polaritate este funcţie de faza semnalului de c.c. În continuare, se realizează o netezire a acestui semnal cu ajutorul unor condensatoare în derivaţie pe rezistenţa de sarcină. Amplificarea în putere se realizează cu două tranzistoare cu siliciu.

Circuitele de reacţie se realizează cu rezistenţe şi capacităţi, formînd reţele pasive. În funcţie de structura circuitului de reacţie, se pot realiza cele două legi de reglare, *PI* sau *PID*.

Regulatorul este prevăzut cu un comutator care face trecerea *„automat–manual"*. Sînt prevăzute şi două aparate de măsurat: M_1 — pentru măsurarea abaterii ε şi M_2 — pentru măsurarea mărimii de comandă x_c.

Operaţia de modulare — amplificare — demodulare se face cu scopul de a asigura amplificarea semnalului continuu cu un amplificator de curent alternativ.

În tabelul 10.1 sînt arătate principalele caracteristici ale regulatoarelor ELC, fabricate în ţară.

D. ELEMENTE DE EXECUŢIE

1. Noţiuni generale

Aşa cum s-a arătat, mărimea de comandă x_c de la ieşirea regulatorului automat se aplică la intrarea elementului de execuţie al *SRA*.

Elementul de execuţie reprezintă *partea prin care regulatorul acţionează asupra instalaţiei tehnologice sau procesului reglat.*

Existenţa elementelor de execuţie este determinată de imposibilitatea mărimii de comandă de la regulator de a interveni direct asupra instalaţiei sau procesului reglat, în scopul execuţiei comenzii (ordinul de reglare).

Deschiderea sau închiderea unui ventil dintr-o conductă, a unui întreruptor într-o reţea electrică, deplasarea cursorului unui reostat în

circuitul de excitație al unui generator sincron etc., sînt tot atîtea moduri de intervenție într-un proces sau instalație tehnologică.

Un element de execuție este format dintr-un organ de execuție (ventil, întreruptor, clapetă, reostat etc.) și un motor de execuție (numit uneori și servomotor) al acestuia.

| ELEMENT DE EXECUȚIE | = | MOTOR | +

+ | ORGAN DE EXECUȚIE |

Din punct de vedere structural, organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică; asupra lui se intervine direct, atunci cînd reglarea se face manual. De exemplu reostatul pentru variația rezistenței ohmice a circuitului de excitație al generatorului sincron este prevăzut și instalat în excitația mașinii încă de la fabricația acesteia. Deplasarea cursorului reostatului se poate realiza manual sau prin intermediul unui motor de execuție.

Introducerea automatizării presupune însă prevederea motoarelor de execuție, adică mecanizarea organelor de execuție. Rezultă, astfel, elementul de execuție al *SRA*.

2. Principiul de funcționare

În general, elementele de execuție au ca principiu de funcționare fie variația unui debit de fluid prin modificarea secțiunii de trecere, fie modificarea cantității de substanță (energie) produsă de o sursă.

Modificarea cantității de substanță (sau de energie) poate fi realizată în două moduri:

— *continuu* — atunci cînd cantitatea respectivă trebuie modificată în mod continuu între două valori limită. De exemplu, un ventil modifică continuu cantitatea (debitul de fluid ce trece printr-o conductă), între zero (ventil închis) și valoarea maximă corespunzătoare ventilului complet deschis;

— *discontinuu* — atunci cînd cantitatea respectivă este modificată (discret) numai pentru două valori limită, dintre care una este în general zero („tot sau nimic"). De exemplu, la un întreruptor electric avînd numai două poziții posibile (deschis sau închis), curentul ce-l străbate poate avea valoarea zero sau o valoare nominală oarecare.

3. Clasificarea elementelor de execuție

Ca rezultat al multitudinii și diversității proceselor tehnologice supuse automatizării au fost concepute și realizate diverse tipuri de elemente de execuție. Ținînd seama însă de natura sursei de energie pentru alimentarea motoarelor de execuție ale acestora, elementele de execuție se pot clasifica în (fig. 10.19):

— *elemente de execuție electrice;*

— *elemente de execuție pneumatice;*

— *elemente de execuție hidraulice.*

Organele de execuție cel mai des întîlnite în instalațiile electroenergetice sînt: întreruptoarele, reostatele etc.

Organele de execuție cel mai des utilizate pentru modificarea cantității de substanță (lichide sau gaze) sînt: robinetul, vana plană, vana clapetă etc.

Aceste tipuri de organe de execuție necesită motoare de execuție cu mișcări corespunzătoare.

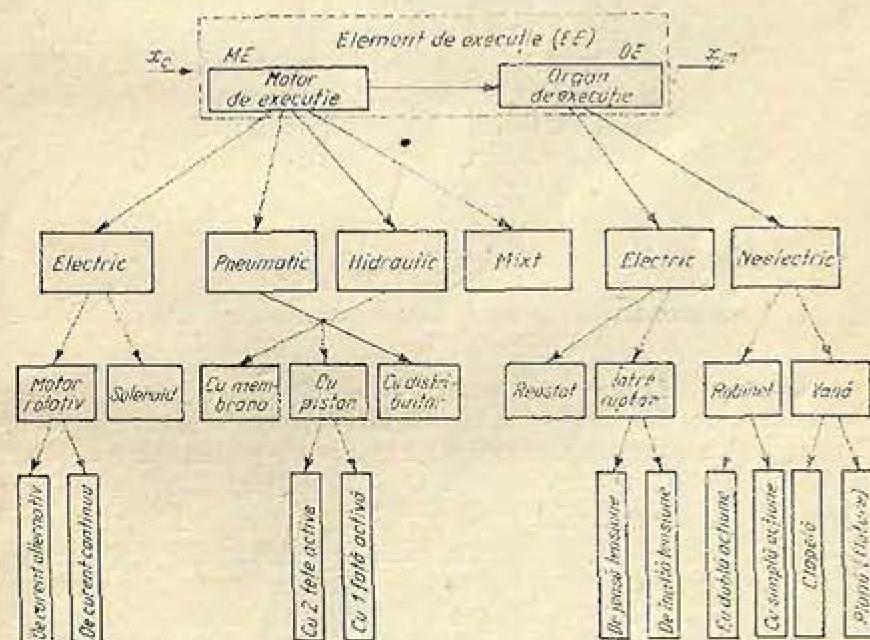


Fig. 10.19. Clasificarea elementelor de execuție ale sistemelor de reglare automată.

4. Elementele de execuţie electrice

În principiu, aceste tipuri de elemente pot fi: *cu motor electric* şi *cu electromagnet* (solenoid).

• **Elementele de execuţie cu motor electric** asigură o mişcare circulară continuă, care, în general, este redusă de circa 100—200 ori cu ajutorul unui reductor mecanic de turaţie.

Motoarele electrice pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

Motoarele de curent continuu folosite sînt de obicei cele cu excitaţie separată.

Viteza de rotaţie depinde de mărimea semnalului aplicat, iar sensul de rotaţie — de polaritatea semnalului respectiv.

Motoarele de curent alternativ sînt fie cele monofazate serie cu colector, fie cele asincrone bifazate.

• **Elementele de execuţie cu electromagnet** (solenoid) asigură o mişcare discontinuă, bipoziţională (închis-deschis, dreapta-stînga etc.). Principial ele sînt executate ca în figura 10.20. Cînd bobina B primeşte curentul de comandă I_c (mărimea x_c), miezul feromagnetic F este supus unei forţe de atracţie şi învingînd forţa resortului R deplasează tija T. În acest mod, dacă tija T este, de exemplu, solidară cu axul întreruptorului I, se produce închiderea unui circuit electric şi aprinderea lămpilor L. La întreruperea curentului I_c prin bobină, resortul R care s-a armat la comanda iniţială readuce tija T în poziţia anterioară şi deschide întreruptorul I.

5. Elementele de execuţie pneumatice şi hidraulice

• **Elementele de execuţie pneumatice** folosesc ca sursă de energie aerul comprimat şi se construiesc exclusiv pentru mişcarea de deplasare (translaţie). Principial sînt utilizate următoarele tipuri de elemente de execuţie pneumatice: *cu membrană* şi *cu piston*.

Elementele cu membrană (fig. 10.21) sînt formate dintr-o capsulă manometrică rotundă C, prevăzută cu o membrană M. Sub membrană se află un disc metalic D solidar cu tija T, prin care se transmite mişcarea, şi un resort antagonist R. Aerul comprimat, adus prin conducta A, apasă asupra membranei şi, învingînd rezistenţa resortului antagonist, împinge tija în jos. Se observă că poziţia tijei, deci a organului de execuţie

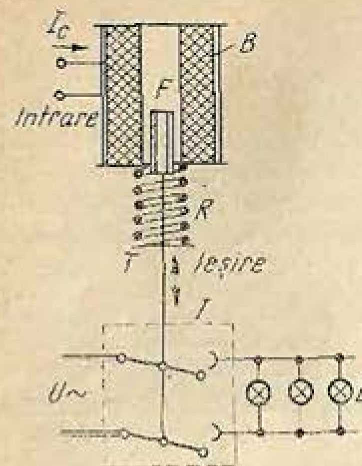


Fig. 10.20. Element de execuţie cu solenoid.

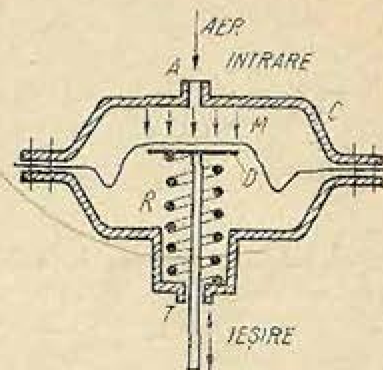


Fig. 10.21. Element de execuţie cu membrană.

pe care îl comandă, variază continuu între două limite, în funcţie de presiunea aerului. Aerul comprimat are o presiune de obicei între 2 şi 10 N/cm², iar cursa tijei este de 1—6 cm.

• **Elementele de execuţie hidraulice** folosesc ca agent motor un lichid sub presiune, de obicei, uleiul. Din punct de vedere constructiv, motoarele hidraulice nu diferă principial de cele pneumatice descrise mai sus; astfel, pot fi motoare hidraulice cu membrană, cu piston, cu piston şi distribuitor etc.

Faţă de cele pneumatice, elementele de execuţie hidraulice prezintă următoarele *avantaje:*

— dezvoltă forţe de acţionare mult mai mari la aceleaşi gabarite, datorită presiunii de ulei care poate fi mult mai mare;

— au o acţiune mai rapidă, datorită faptului că uleiul este practic incompresibil.

Ca şi elementele pneumatice, cele hidraulice prezintă avantajul că pot fi folosite în medii explozive sau inflamabile, unde elementele electrice nu pot funcţiona decît cu măsuri speciale de protejare. În schimb, elementele de execuţie hidraulice, ca şi cele pneumatice, necesită instalaţii speciale pentru producerea uleiului sub presiune, respectiv a aerului comprimat. Aceste instalaţii cuprind rezervoare de ulei sub presiune (respectiv aer), diverse pompe, compresoare, conducte, filtre etc.

Rezumat

- **Elementele** unui SRA care transformă („traduc") o mărime oarecare (de obicei, neelectrică) într-o mărime de altă natură fizică (de obicei, electrică), proporțională sau dependentă de mărimea inițială se numesc **traductoare.** Traductoarele se folosesc în schemele de automatizare pentru măsurarea și prelucrarea pe cale electrică (de exemplu, folosind un ampermetru sau voltmetru) a unor mărimi neelectrice.

- **Amplificatoarele** sînt elementele *SRA* care măresc (amplifică) proporțional cu un factor de amplificare mărimea aplicată la intrarea lor. Necesitatea folosirii amplificatoarelor rezultă din faptul că mărimile furnizate de traductoare sînt insuficiente ca putere pentru a acționa direct asupra unui organ de comandă (sau conducere) dintr-o instalație de automatizare.

- **Regulatoarele** sînt dispozitive de automatizare care realizează „legea de reglare" într-o instalație de reglare automată. La intrarea regulatoarelor se aplică eroarea (sau abaterea) ε, iar la ieșirea regulatoarelor rezultă mărimea de comandă x_c (ordinul de reglare).

Regulatoarele se clasifică: în funcție de caracteristicile constructive *(regulatoare specializate și regulatoare unificate)*; în funcție de particularitățile funcționale *(regulatoare cu o acțiune continuă — liniare* și *neliniare* — și *regulatoare cu acțiune dicontinuă* sau *discretă)*; în funcție de agentul purtător de semnal *(regulatoare electronice, electromagnetice, hidraulice* și *pneumatice)*; în funcție de viteza de răspuns *(regulatoare pentru procese rapide* și *regulatoare pentru procese lente)*.

- **Elemente de execuție** sînt acele elemente de automatizare prin care regulatorul acționează asupra instalației sau procesului reglat. Ele cuprind *motorul de execuție* și *organul de execuție*; ultimul face parte integrantă din instalația tehnologică (obiectul reglării).

Capitolul 11

TELEMECANICA

A. DEFINIȚII ȘI NOȚIUNI GENERALE

Telemecanica reprezintă *totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații* (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal).

Pentru a realiza măsurarea, comanda și semnalizarea fără participarea omului sau cu participarea operatorului uman numai în anumite faze ale transmisiei informației, dispozitivele telemecanice transformă informația în semnale și le transmite la distanță, pe linii de transmisie. Ansamblul dispozitivelor telemecanice utilizate formează un sistem telemecanic.

Se pot enumera destule procese de producție în care este necesară utilizarea telemecanicii. Astfel de procese sînt:

— procesele de producție complexe, în care diferite părți sau instalații funcționează în strînsă legătură, deși sînt situate la distanțe mari între ele (cazul centralelor electrice, stațiilor de transformare și liniilor de transport și distribuție din sistemul energetic, al sistemelor de irigație, al cîmpurilor de sonde și al rețelelor de distribuție de gaze naturale etc.);

— procesele de producție la care se impune conducerea de la distanță, fie din considerente de securitate și protecție a muncii, fie din imposibilitatea situării omului în locul în care se desfășoară procesul respectiv (cazul lucrărilor de foraj la mare adîncime, controlul și comanda funcționării anumitor instalații cu temperaturi ridicate sau scăzute, în mediu radioactiv, la înaltă tensiune, supravegherea și conducerea de la distanță a reactorilor nucleari, a zborului rachetelor cosmice și sateliților etc.);

— procesele la care comanda de la distanță asigură o desfășurare mai operativă și un grad sporit de siguranță în funcționare (ca, de exemplu, automatizarea triajelor de cale ferată, controlul centralizat al circulației feroviare sau rutiere, supravegherea și dirijarea traficului aerian, conducerea de la distanță a centralelor hidroelectrice etc.).

B. FUNCȚIILE SISTEMELOR TELEMECANICE ȘI PRINCIPIUL DE REALIZARE A ACESTORA

Telemecanica permite realizarea următoarelor funcțiuni:

— *telemăsurarea*, adică transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări (de exemplu, telemăsurarea valorii tensiunii, nivelului sau debitului);

— *telecomanda*, adică transmiterea la distanță a unei comenzi (de exemplu, telecomanda pornirii sau opririi unui agregat);

— *telesemnalizarea*, adică transmiterea la distanță a unui semnal (de exemplu, telesemnalizarea unei avarii, telesemnalizarea depășirii unor limite, a poziției închis sau deschis a unui întreruptor etc.).

Cînd instalația de telemecanică permite realizarea unei reglări la distanță, se obține o telereglare (ca de exemplu, telereglarea puterii unor centrale electrice).

În tabelul 11.1 se prezintă funcțiunile telemecanicii în raport de tipul și caracterul informației transmisă la distanță.

Tabelul 11.1

Tipul informației \ Caracterul informației	Cantitativ	Calitativ
de control	*TM* (telemăsurare)	*TS* (telesemnalizare)
de comandă	*TR* (telereglare)	*TC* (telecomandă)

În figura 11.1 este arătată principial telemecanizarea unui sistem energetic. Pentru buna funcționare a sistemului de telemecanizare în ansamblu, este necesar să se centralizeze într-un punct de comandă, sau punct dispecer, controlul și comanda întregului sistem energetic.

Legătura dintre punctul de comandă sau dispecer (fig. 11.2) și instalațiile controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o linie de transmisie. Această legătură se poate realiza fie prin conductoare electrice (linie de telecomunicație prin fire sau linie de transport de energie electrică), fie fără conductoare de legătură (canal de telemecanică prin radio).

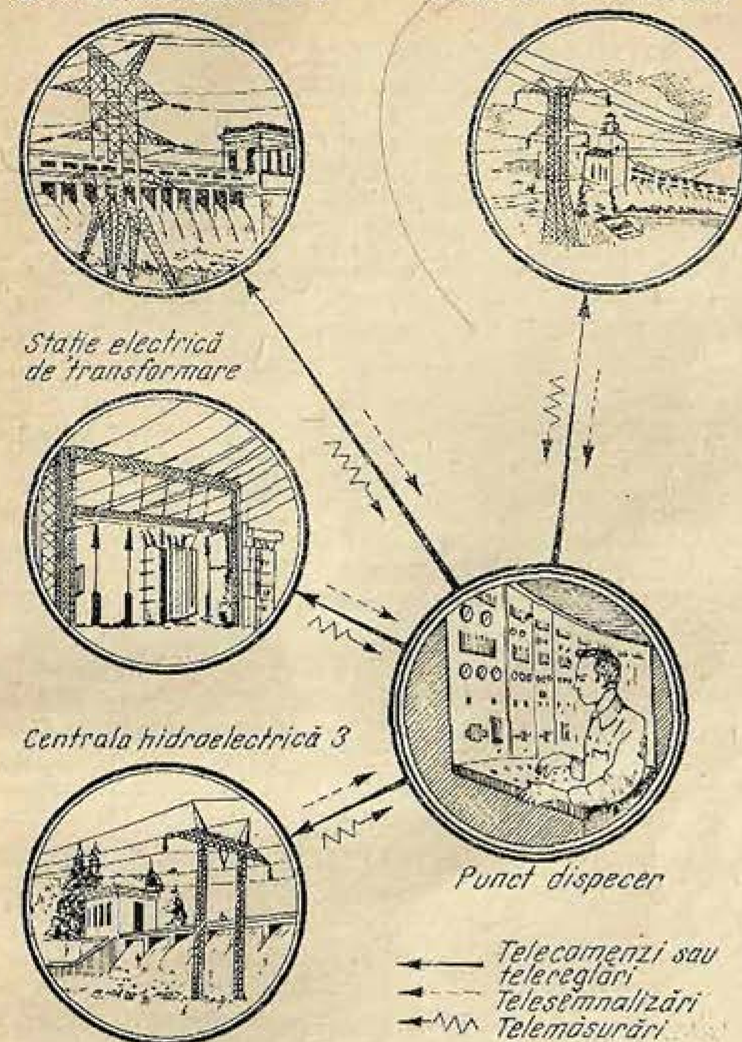


Fig. 11.1. Telemecanizarea unui sistem energetic.

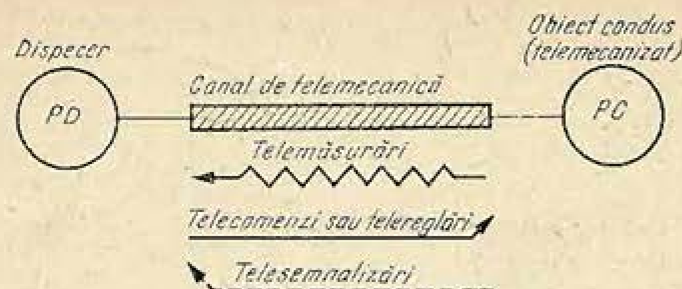


Fig. 11.2. Conexiunea dispecer-obiect telemecanizat.

C. STRUCTURA APARATURII DE TELEMECANICĂ

Orice sistem de telemecanică este alcătuit din cel puţin *două subansambluri* sau *terminale* — cel de la postul dispecer şi cel (sau cele) de la postul (sau posturile) comandat la distanţă, *legate între ele prin canale de telemecanică.*

În cazul în care se transmite numai informaţia de control (telesemnalizarea sau telemăsurarea), postul controlat reprezintă totodată postul de emisie a semnalelor iar postul de comandă (sau dispecer) — postul de recepţie. Dacă se transmite numai informaţia de comandă, emiţătorul se află la postul de comandă (sau dispecer) iar receptorul (sau receptoarele) la postul comandat.

În situaţia în care se prevede atît transmiterea de informaţii de control, cit şi de informaţii de comandă, ambele terminale trebuie să conţină atît emiţătorul, cît şi receptorul de semnale telemecanice.

În funcţie de modul de transmitere în timp a semnalelor telemecanice, deosebim *transmiterea permanentă a semnalelor, transmiterea periodică* sau *ciclică* şi *transmiterea intermitentă în timp a semnalelor.*

Aceasta din urmă se poate efectua fie în mod automat, în momentul apariţiei unei schimbări în desfăşurarea procesului tehnologic condus de la distanţă (de exemplu, la apariţia unei avarii), fie la cerere, la comanda dispecerului.

În figura 11.3 este reprezentat cazul general al structurii aparaturii de telemecanică.

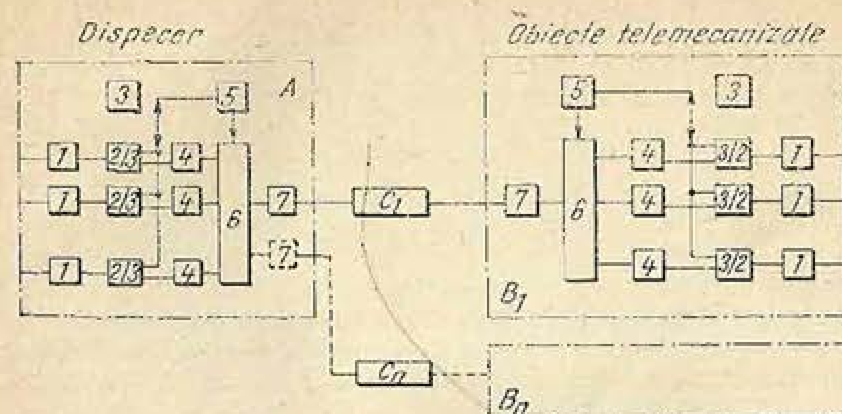


Fig. 11.3. Structura generală a unei aparaturi de telemecanică:
A — terminalul situat la dispecer; $B_1, B_2, ..., B_n$ — terminale situate la obiectele telemecanizate; $C_1, C_2, ..., C_n$ — canale de telemecanică; *1* — blocuri de conectare externă; *2* — blocuri de prelucrarea informaţiei; *3* — blocuri energetice (surse ÷ amplificatoare); *4* — blocuri de memorizare; *5* — blocuri de organizare automată a funcţionării; *6* — blocuri de separare; *7* — blocuri de cuplare internă la canalele de telecomunicaţie.

D. SISTEME TELEMECANICE FABRICATE ÎN ŢARĂ

În ţara noastră, Institutul pentru Cercetări şi Modernizarea Instalaţiilor Energetice *(ICEMENERG)* şi *IEA* — Bucureşti fabrică elemente şi instalaţii de telemecanizare cu elemente statice.

Astfel, se pot cita: echipamentul pentru automatizarea şi telemecanizarea centralelor hidroelectrice — de pildă, din hidrocentrala Stejarul (Bicaz) se conduc prin telemecanizare alte 11 obiective energetice din „aval Bistriţa" (centralele hidroelectrice Pîngăraţi, Vaduri, Roznov ş.a.); echipamentul cuprinde: dispozitive pentru convertirea, memorizarea şi repartizarea automată a consemnului de putere activă sau reactivă, dispozitive pentru reglarea automată a deschiderii vanelor, pentru reglarea automată a excitaţiei generatoarelor, pentru reglarea automată a nivelului în bazinele de liniştire, pentru pornirea sau oprirea automată a turbinelor etc.); echipamentele de telemecanică cu elemente statice (variantele: *„TESECIC"* — pentru telesemnalizare ciclică, *„TELECIN"* — pentru telesemnalizare şi telemăsurare ciclică numerică, *„TELESTAT"* — pentru telecomandă la cerere, telesemnalizare şi telemăsurare ciclică numerică, *„TELEMARC"* — pentru telecomandă,

telesemnalizare, telemăsurare și telereglare numerică); echipamentul „TELEPAL" — pentru comanda punctelor de alimentare; diverse echipamente de telemecanică cu circuite integrate etc.

Rezumat

• Telemecanica reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal). Ea este acea ramură a științei și tehnicii care se ocupă cu metodele și mijloacele tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între mai multe instalații tehnologice în interdependență funcțională și un punct de conducere (sau dispecer) al sistemului de ansamblu.

Telemecanica permite realizarea următoarelor **funcțiuni**: (telemăsurarea, telecomanda, telesemnalizarea și telereglarea).

• Legătura dintre punctul de comandă (sau dispecer) și instalațiile (obiectele) controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o linie de transmisie (numită și canal de telemecanică), fie prin conductoare electrice, fie prin radio.

Răspunsuri la întrebări

1.5. — 13,14 kA; 1,6 — 1 200 con/oră ($t_c = t_a + 1{,}2$ și $t_c = t_a/10{,}6$, de unde $t_a = 1{,}8$ și $t_c = 3$ s).

2.2 — 85 kV, 240 kV; 2.3 — $\theta_r = 0{,}406 \frac{\rho}{K} \cdot \frac{I^2}{d^3}$;

2.4 — $\theta_r = \frac{\rho}{2K} \cdot \frac{I}{ab(a+b)}$;

2.5 — 144°C; 2.6 — 480 A; 2.7 — 95°C; 2.9 — 7,2 kWh;
2.10 — 2 600 daN; 2.13 — nu.
3.6 — la fel (66 V).

CUPRINS